

BAB 8 DESAIN AWAL DAN EVALUASI TEKNIS ALTERNATIF PENGELOLAAN SEDIMEN SECARA STRUKTURAL

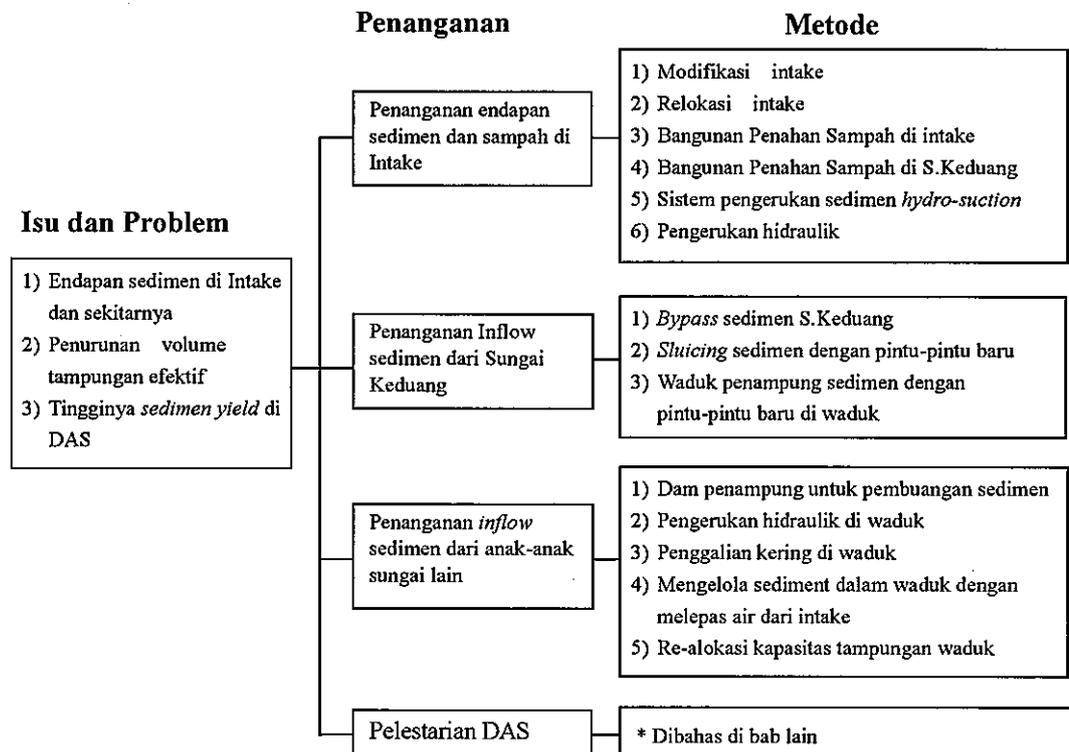
8.1 Alternatif Pengelolaan Sedimen secara Struktural yang dapat diterima

Seperti disebutkan sebelumnya dalam Bab 7, penanganan-penanganan berikut diurutkan dengan pertimbangan sifat khas aliran sedimen dari anak-anak sungai:

- i) Penanganan untuk menanggulangi aliran sedimen dan sampah dari S.Keduang serta endapan sedimen di sekitar bangunan *intake* merupakan langkah yang mendesak.
- ii) Penanganan untuk menanggulangi aliran sedimen dari anak-anak sungai yang lain merupakan langkah jangka menengah atau jangka panjang.

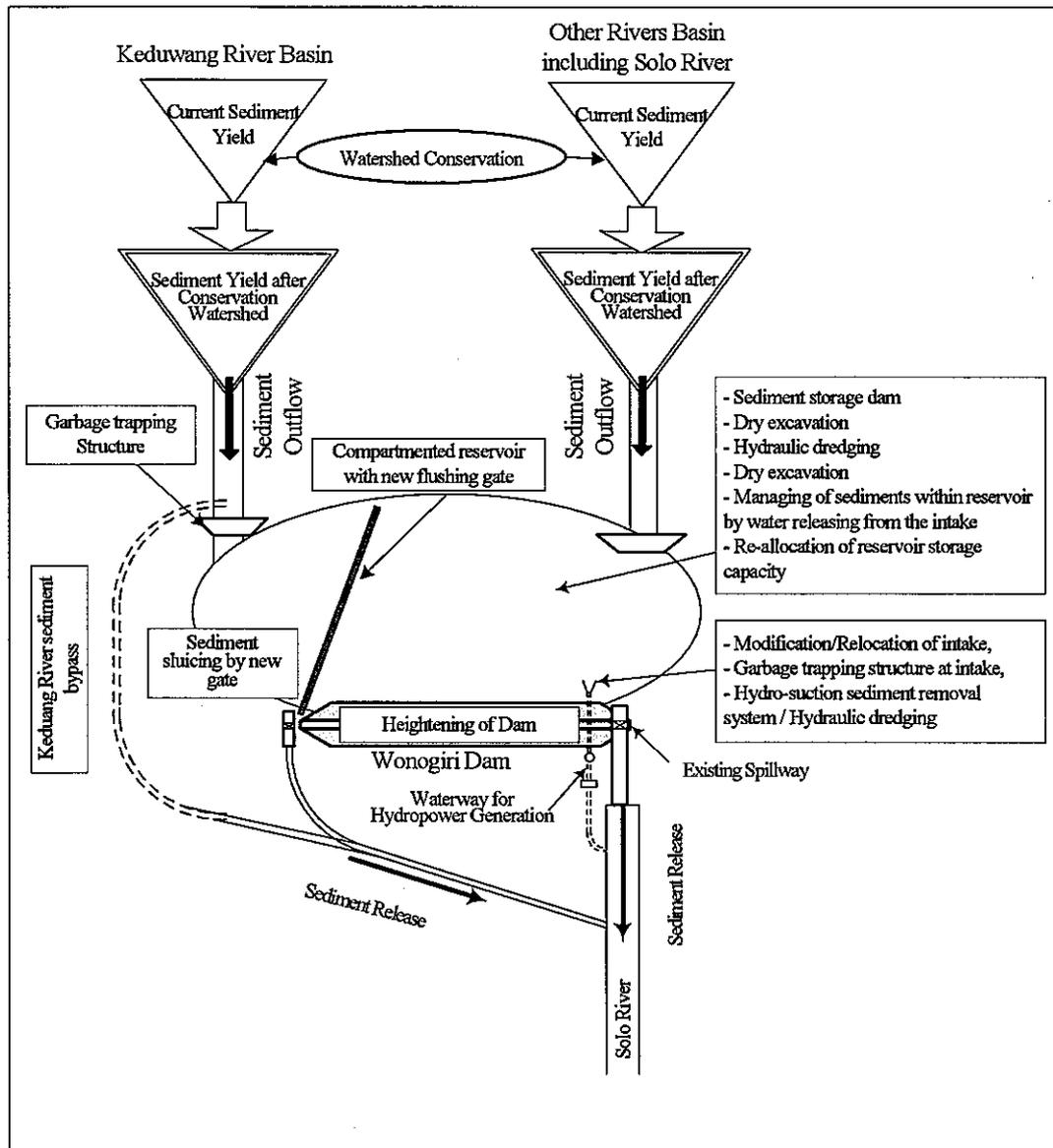
Langkah-langkah untuk menanggulangi aliran sedimen dari anak-anak sungai yang lain – tidak termasuk S.Keduang, kemungkinan penanganan strukturalnya juga dievaluasi, walaupun akan lebih praktis dan berguna memakai langkah-langkah non-struktural untuk mengurangi laju produksi sedimen (*sediment yield*) di DAS Waduk Wonogiri

Gambar 8.1.1 menunjukkan alternatif-alternatif dari masing-masing penanganan yang dipelajari untuk evaluasi teknik. Gambar 8.1.2 memberikan penjelasan konsep dari alternatif-alternatif ini. Penjelasan lebih rinci prosedur evaluasi dibuat dalam Laporan Pendukung Lampiran No.7.



Sumber: Tim Studi JICA

Gambar 8.1.1 Alternatif Struktur yang Dapat Diterima pada Penanganan Isu Sedimentasi Waduk Wonogiri



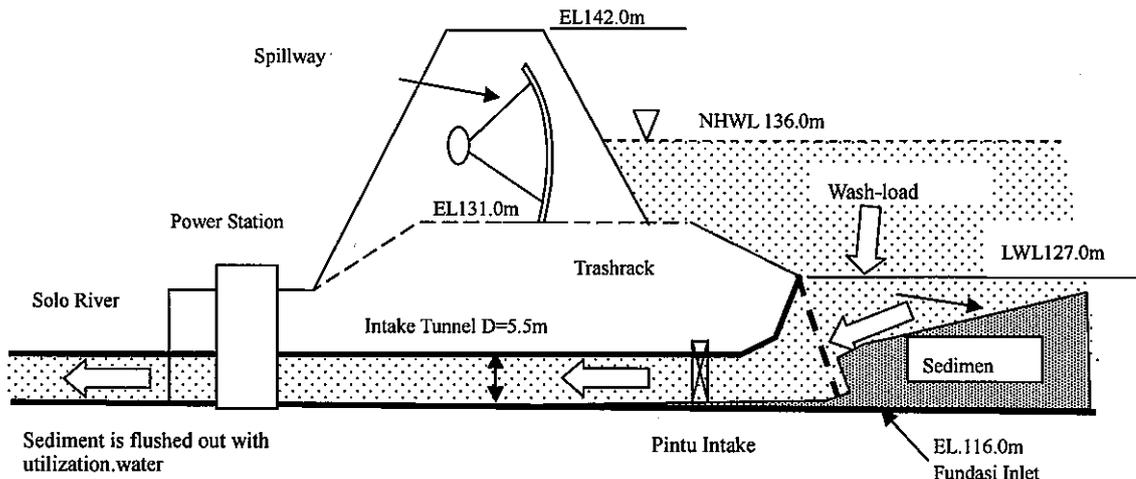
Sumber: Tim Studi JICA

Gambar 8.1.2 Konsep Penanganan Secara Struktur yang Dapat Diterima pada Anak Sungai

8.2 Penanganan Endapan Sedimen dan Sampah di Intake

Bangunan intake untuk irigasi dan suplei air PLTA, terletak pada pondasi di ketinggian EL.116.0 m, 11 m di bawah elevasi endapan sedimen yang direncanakan (El. 127.0 m). *Inlet* merupakan satu-satunya fasilitas untuk mengalirkan sedimen ke hilir Sungai Bengawan Solo. Inlet ini dibangun dengan menggali tanah dasar asli (lihat Gambar 7.3.1). Kondisi topografi ini menyerupai vas (pot) dengan bagian atas pada El.126.0 m dan bagian dasar pada El. 110.0 m, yang merupakan dasar sungai asli Keduwang.

Kondisi struktur seperti ini memungkinkan terjadinya sedimentasi dan akibatnya intake telah dikelilingi oleh sedimen. Gambar 8.2.1 menunjukkan gambaran angkutan sedimen dari bangunan intake. Pelimpah spillway terletak pada El. 131.0 m. Pembuangan sedimen tidak dapat dilakukan sampai endapan sedimen melebihi El. 131.0 m.



Sumber: Tim Studi JICA

Gambar 8.2.1 Ilustrasi Angkutan Sedimen di Intake

8.2.1 Modifikasi Intake

(1) Gambaran Metode

Modifikasi intake yang ada saat ini bertujuan untuk menghindari terkuburnya intake oleh timbunan sedimen dan mencegah sampah masuk inlet. Intake akan dimodifikasi dengan membuat menara intake baru di atas bagian inlet. Karena sedimen akan terus berlanjut di depan intake, menara intake akan dilengkapi dengan pintu-pintu pilihan dan kasa. Ketika pengendapan sedimen melampaui LWL. 127.0 m, pintu intake akan disesuaikan di atas batas endapan untuk mencegah sedimen mengalir masuk inlet.

(2) Rencana Tataletak (*Layout*)

Rencana tataletak secara umum ditunjukkan pada Gambar 8.2.2 dan rencana fasilitas ditunjukkan di bawah.

Tabel 8.2.1 Rencana Fasilitas pada Modifikasi Intake

Bangunan	Dimensi
Menara Intake	H=26.0 m (Elevasi Inlet: EL.127.0 m)
	Pintu H 5.0 m x B 12.6 m x 2 buah.
	Screen H 14.0 m x B 12.6 m

Sumber: Tim Studi JICA

(3) Kemungkinan Penerapan (*applicability*)

Pekerjaan utama pada modifikasi (intake) adalah membangun menara intake dengan elevasi yang lebih tinggi dari intake yang sudah ada. Karena pekerjaan pondasi memerlukan kondisi kering, tinggi muka air waduk harus diturunkan selama pelaksanaan pekerjaan dan demikian juga suplei air untuk irigasi dan tenaga pembangkit listrik harus dihentikan. Diperlukan daya dukung tanah yang kuat pada pondasi untuk mendukung konstruksi di atas nya. Kondisi ini menyebabkan metode ini sulit diterapkan.

Metode ini bukan pemecahan yang berkelanjutan untuk penanganan masalah-masalah sedimentasi waduk Wonogiri, karena sedimentasi akan berlanjut dari tahun ke tahun hingga melewati elevasi inlet.

8.2.2 Relokasi Intake

(1) Gambaran Metode

Metode ini merelokasi intake ke lokasi baru yang sedimentasinya di dekat bendungan diharapkan lebih sedikit. Disarankan sebuah menara intake dengan pintu-pintu pilihan. Di depan inlet dipasang penampung sampah (*trash rack*). Terowongan penghubung dibuat untuk menghubungkan *conduit* yang ada ke bangunan PLTA.

(2) Rencana Tataletak

Lokasi yang dipilih berada di tepi kiri atas sekitar 300 m dari bendungan. Rencaca umum tataletak ditunjukkan pada Gambar 8.2.3 dan rencana fasilitas ditunjukkan di bawah ini:

Tabel 8.2.2 Rencana Fasilitas pada Relokasi Intake

Bangunan	Dimensi
Menara Intake	H=32.0 m
	Elevasi Inlet: El.127.0 m
	Pintu H5.0 m x B10.0 m × 2 buah.
	Screen H14.0 m × B12.6 m
Terowongan transmisi	D=5.5 m
	L=570 m

Sumber: Tim Studi JICA

(3) Kemungkinan Penerapan

Berdasarkan hasil analisis sedimentasi waduk, sedimentasi akan terjadi di sekitar lokasi yang diusulkan, meskipun laju sedimentasi lebih kecil dari yang terjadi di existing intake. Sedimentasi pada lokasi yang diusulkan sulit dihindari. Suplai air seharusnya dihentikan selama pekerjaan berhubungan dengan bangunan intake yang sudah ada. Akan tetapi, frekuensi penyumbatan intake oleh sampah akan jauh berkurang karena intake yang diusulkan ditempatkan jauh dari saluran S.Keduang.

Pemindahan lokasi intake memungkinkan intake berfungsi baik jika seandainya intake yang ada terisi sepenuhnya dengan timbunan sedimen. Namun mengingat perlunya penanganan yang menerus akan fungsi Waduk Wonogiri, pemindahan lokasi intake mungkin akan dapat diterapkan bila dilakukan bersama-sama penanganan lain secara periodik seperti pengerukan di depan intake yang baru.

8.2.3 Bangunan Penahan Sampah di Intake

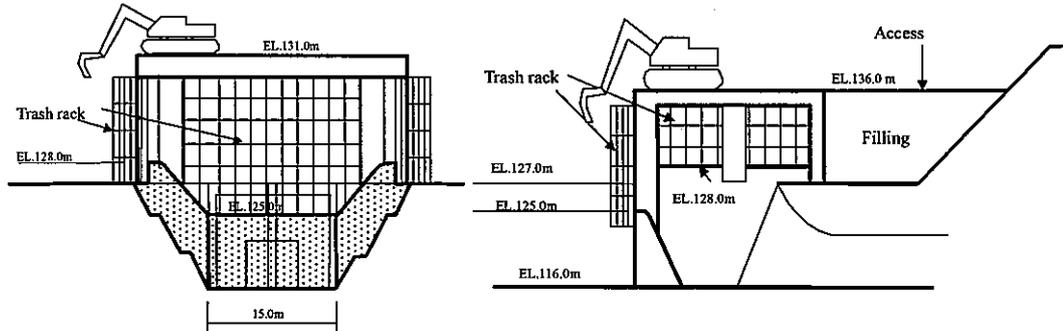
(1) Gambaran Metode

Aliran sampah dari S.Keduang merupakan penyebab utama penyumbatan intake. Jika problem sampah dipecahkan, hampir tidak mungkin terjadi penyumbatan di intake. Karena tanah di depan intake membentuk saluran pengarah yang dalam, menyebabkan sedimen dan sampah pada bagian lereng dengan mudah masuk ke dalam saluran tersebut.

(2) Rencana Tataletak

Gambar 8.2.4 di bawah merupakan desain awal bangunan penahan sampah di intake yang ada saat ini. Sebuah bendung pelimpah di bangun pada saluran pengarah intake. Elevasi puncak bendung ditetapkan pada EL. 127.0 m di depan dan pada El.128.0 m di samping. Bendung pelimpah ini akan menahan sedimen yang akan masuk di intake. *Trash rack* akan di pasang di depan dan kedua sisi untuk menahan sampah dari sekitarnya masuk ke intake. Tanggul (*deck*) direncanakan dibuat menghubungkan puncak bendungan dengan

bangunan ini dan bertujuan untuk mengurangi pekerjaan pemeliharaan. Sampah di trash rack akan mudah dibuang dengan peralatan berat seperti *back hoe* and *crane*. Tanggul pengarah dan puncak bangunan penahan sampah di desain *submergible* untuk meminimalkan biaya konstruksi. Pekerjaan-pekerjaan pemindahan sampah secara periodik harus dilakukan sewaktu elevasi air waduk di bawah EL.136.0 m.



Sumber: Tim Studi JICA

Gambar 8.2.4 Ilustrasi Bangunan Penahan Sampah di Intake

Rencana umum tataletak di tunjukkan pada Gambar 8.2.5 dan rencana fasilitas ditunjukkan di bawah:

Tabel 8.2.3 Rencana Fasilitas pada Bangunan Penahan Sampah di Intake

Bangunan	Ukuran
Bendung pelimpah	Elevasi puncak EL.127.0 m Lebar puncak B=14.6 m
Approach deck	B=7.0 m L=105.7 m A=739.9 m ²
Pancang Baja (<i>Steel pile</i>)	Φ 1,000 L=9.0 m, Nos.=34
Trash rack (<i>Screen</i>)	H=7.0 m L=111.2 m A=889.6 m ²

Sumber: Tim Studi JICA

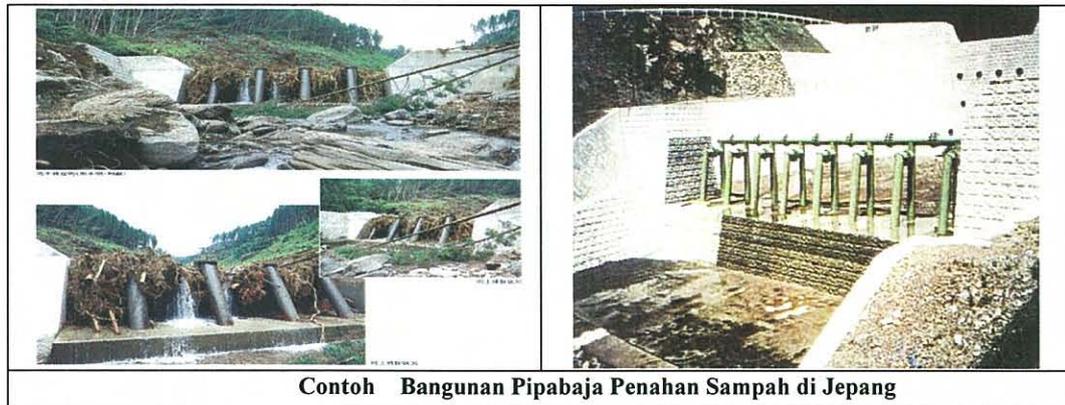
(3) Kemungkinan Penerapan

Karena pekerjaan pondasi memerlukan kondisi kering, elevasi air waduk harus di turunkan selama pekerjaan berlangsung dan demikian juga suplei air untuk irigasi dan PLTA harus dihentikan. Bila pembuangan sampah secara berkala dilakukan, penyumbatan intake berkaitan dengan sampah akan terpecahkan. Namun, tampungan sedimen di intake harus di pecahkan dengan langkah penanganan yang lain. Dari sudut pandang pengelolaan fungsi waduk Wonogiri yang berkelanjutan, bangunan penahan sampah di intake mungkin dapat diterapkan bila juga diterapkan penanganan yang lain seperti pengerukan berkala di muka intake yang baru.

8.2.4 Bangunan Penahan Sampah di Sungai Keduang

(1) Gambaran Metode

Metode ini untuk menahan dan membuang sampah dari sungai Keduang sebelum memasuki waduk. Disarankan sebuah chekdam dengan pancang baja, seperti yang umum diterapkan di Jepang. Gambar di bawah merupakan contoh chekdam penahan sampah di Jepang. Pekerjaan-pekerjaan pembuangan sampah dilakukan secara berkala.



(2) Rencana Tataletak

Rencana umum tataletak bangunan penahan sampah di Sungai Keduang ditunjukkan pada Gambar 8.2.6, dan rencana fasilitas ditunjukkan di bawah:

Tabel 8.2.4 Rencana Fasilitas pada Bangunan Penahan Sampah di Sungai Keduang

Bangunan	Dimensi
Concrete Weir	Lebar W=56.3 m Tinggi H=9.3 m
Steel pipe	B=25.0 m h=4.0 m

Sumber: Tim Studi JICA

(3) Kemungkinan Penerapan

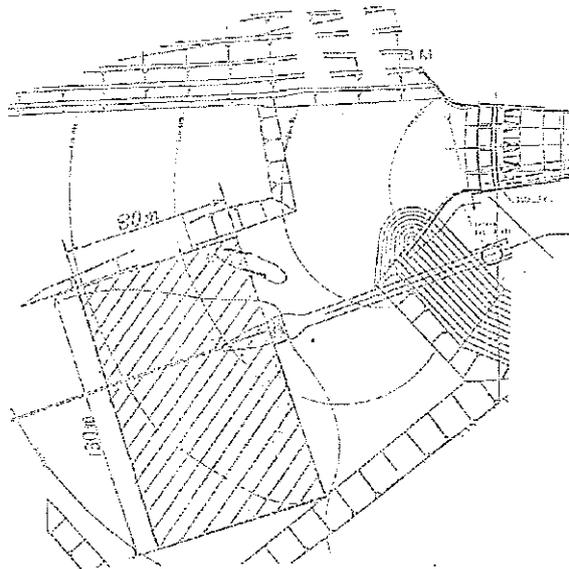
Pembuangan sampah secara berkala memerlukan lahan pembuangan. Aliran sedimen dari sungai Keduang masuk ke dalam Waduk Wonogiri tanpa ditahan di chekdam. Metode ini berguna sebagai pekerjaan pendukung pembuangan sedimen di intake.

8.2.5 Sistem Pembuangan Sedimen *Hydro-suction*

Seperti dijelaskan di bab 6, berdasarkan uji verifikasi sitem pembuangan sedimen *hydro-suction*, telah dilaporkan kemungkinan penerapan cara ini. Berdasarkan hasil tes, volume pengerukan diperkirakan sebagai berikut:

Periode:	: Desember - April
Area penyedotan	: Area penyedotan di depan intake (Gambar 6.2.7.)
Diameter Pipa	: 600 mm
Panjang pipa	: 500 m (=240 m (bagian <i>spillway</i>) + 250 m (bagian Waduk))
Elevasi Outlet	: EL.115.0m (Tanki penerima di bawah <i>spillway</i>)

Pengoperasian sistem ini dibagi dalam 2 cara, pertama di saat periode banjir (*flood period*) dan yang lain pada waktu PLTA beroperasi (*non-flood period*). Daerah pengerukan ditunjukkan di bawah ini.



Sumber: Tim Studi JICA

Gambar 8.2.7 Wilayah Penyedotan dengan Sistem *Hydro-suction*

Untuk menghindari bahaya operasional selama periode banjir saat banjir mengalir ke dalam Waduk Wonogiri, pengoperasian sistem ini dibatasi hanya pada saat banjir dengan aliran total 100 m³/det hingga 800 m³/det. Periode banjir rata-rata tahunan dari Desember – April dalam tahun 1993 – 2004 diperkirakan 732 jam. Waktu pengoperasian diperkirakan 183 jam tidak termasuk waktu malam hari dan waktu persiapan pengoperasian sistem yang diperkirakan 75% dari total jam. Rata-rata tinggi muka air waduk selama periode di atas diestimasi pada El.133.64 m. Volumennya diperkirakan sekitar 125,200 m³ sebagai berikut:

Tabel 8.2.5 Rangkuman Penyedotan selama Periode Banjir

Jam operasi (jam)	Kecepatan aliran dalam pipa (m/s)	Konsentrasi Volumetrik (%)	Laju Penyedotan (m ³ /s)	Jumlah Penyedotan (m ³)	Konsumsi air (m ³)
183	2.7	25	0.19	125,200	502,700

Sumber: Tim Studi JICA

Meskipun sistem ini dapat membuang sedimen sebesar 125,200 m³ selama banjir, konsentrasi debit sedimen sebesar 25% dilepas mengalir ke bageian hilir bendungan. Hal ini mungkin berdampak serius terhadap lingkungan sungai Bengawan Solo di bagian hilir bendungan. Untuk memitigasi dampaknya, pengoperasian harian sitem *hydro-suction* dibatasi kurang dari empat (4) jam. Dengan batasan ini, volume penyedotan akan berkurang sekitar 31,500 m³.

Selama periode tidak banjir, debit hisapan digabung dengan debit rata-rata PLTA sebesar 30 m³/det dengan besaran konsentrasi dianggap 7%. Waktu operasi adalah 480 jam, 4 jam kali 120 hari dari Desember hingga April.

Kesimpulannya, sistem pengerukan sedimen *hydro-suction* di Waduk Wonogiri disarankan untuk di operasikan selama periode banjir dan tidak banjir. Perkiraan volume yang bisa dibuang sebagai berikut:

Tabel 8.2.6 Rangkuman Pengoperasian Penyedotan

Divisi	Waktu Pengoperasian (Jam)	Kecepatan aliran dalam pipa (m/det)	Konsentrasi Volumetrik (%)	Laju Penyedotan (m ³ /det)	Volume Penyedotan (m ³)	Konsumsi Air (m ³)
Waktu operasi PLTA	480	2.2	7	0.04	69,100	1,074,300
Waktu banjir	46	2.7	25	0.19	31,500	126,400
Total	526	-	-	-	100,600	1,200,700

Sumber: Tim Studi JICA

8.3 Penanganan Inflow Sedimen dari Sungai Keduang

8.3.1 Sudetan Sedimen Sungai Keduang

(1) Gambaran Metode

Sudetan sedimen (*sediment bypassing*) pada Sungai Keduang merupakan metode yang membagi mengalihkan sebagian banjir sedimen dari S.Keduang ke sudetan terowongan menuju sungai di hilir bendungan. Metode ini efektif bila sulit menurunkan muka air dan waduk relatif kecil. Namun, sistem ini membutuhkan banyak biaya.

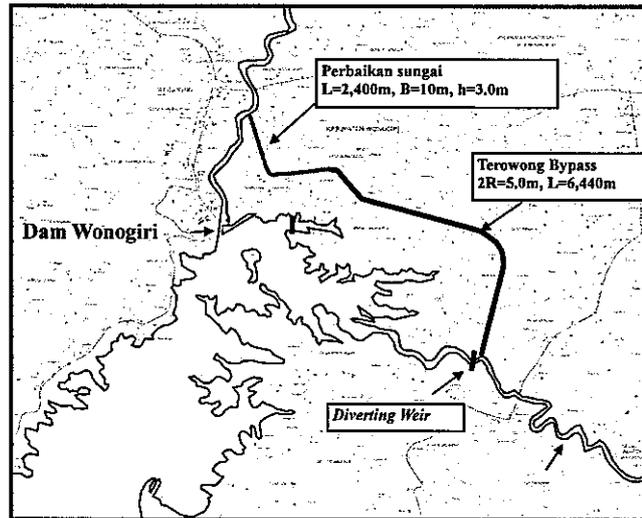
(2) Rencana Tataletak

Kemiringan terowongan *bypass* biasanya sekitar $I=1/100$ untuk mengamankan daya dukung terhadap *bed load* atau *suspended load* termasuk *wash load*. Untuk Waduk Wonogiri, kemiringan terowongan *bypass* hanya $I=1/1,000$ karena kondisi topografi yang datar, sehingga sulit untuk mengalirkan *bed load*. Sistem sedimen *bypass* mengalihkan material-material *suspended load* termasuk *wash load*. Kapasitas debit terowongan *bypass*, dengan pertimbangan efisiensi antara volume sedimen dan debit banjir ditetapkan 50 m³/det. Alternatif tataletak dan optimasi kapasitas terowongan dirinci dalam Laporan Pendukung, Lampiran No.7.

Gambar 8.3.1 di bawah ini menjelaskan tataletak umum usulan sistem *bypass* sedimen dari sungai Keduang. Bangunan sudetan sedimen terdiri dari empat (4) fasilitas, bendung (*diverting weir*), pintu-pintu pengendali (*control gates*), terowongan *bypass* (*bypass tunnel*) dan perbaikan sungai kecil yang menghubungkan terowongan *bypass* dan sungai Bengawan Solo.

(3) Pengoperasian

Pintu-pintu pengendali yang mengalihkan aliran banjir ke dalam terowong *bypass* dipasang di tebing kanan dari *diverting weir*. Bila debit melampaui 30 m³/det, pintu dibuka penuh untuk mengalirkan banjir 50 m³/det langsung ke terowong *bypass*. Ketika banjir berkurang hingga 30 m³/det, pintu ditutup. Sehingga, sebagian aliran banjir yang kurang dari 30 m³/det dan lebih dari 50 m³/det langsung masuk ke Waduk Wonogiri. Pengoperasian *bypassing* sedimen ditunjukkan dalam Gambar 8.3.3 di bawah ini.



Sumber: Tim Studi JICA

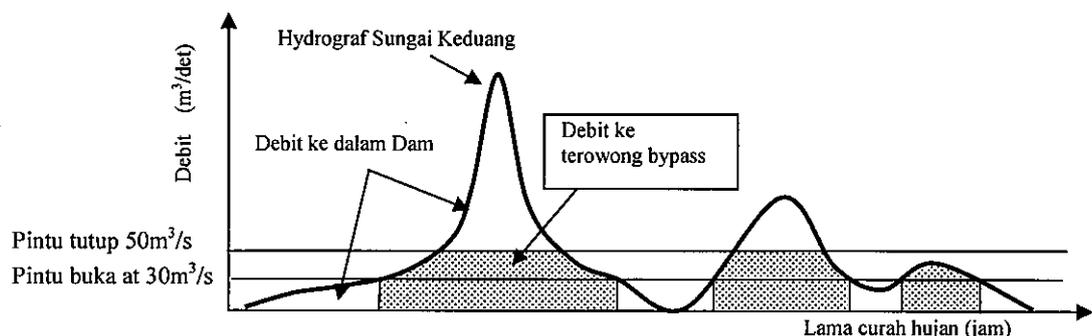
Gambar 8.3.1 Tataletak Umum Bypass Sedimen di Sungai Keduang

Gambar 8.3.2 menunjukkan rencana tataletak umum sistem *bypass* sedimen dan rencana fasilitas disediakan.

Tabel 8.3.1 Rencana Fasilitas pada Bypass Sedimen di Sungai Keduang

Fasilitas	Dimensi	
<i>Diverting weir</i>	Debit rencana	$Q = 1,370 \text{ m}^3/\text{det}$
	Lebar area pengaliran	70 m
	<i>Overflow depth</i>	4.9 m
	Tinggi bendung	9.3 m
	Lebar bendung	137.9 m
Pintu pengendali	<i>Roller gate</i> x 2 buah	H6.7 m x B5.0 m x 2 buah.
	Ketinggian fundasi	EL. 134.0 m
Terowong <i>bypass</i>	Kemiringan terowongan	$I = 1 / 1,000$
	<i>Horseshoe channel</i>	$2R = 5.0 \text{ m}$
	Panjang terowongan	$L = 6,435 \text{ m}$
Perbaikan sungai	Kemiringan saluran	$I = 1 / 200$
	Panjang saluran	$L = 2,395 \text{ m}$
	Lebar dasar	$B = 10.0 \text{ m}$
	Tinggi saluran	$H = 3.0 \text{ m}$

Sumber: Tim Studi JICA



Sumber: Tim Studi JICA

Gambar 8.3.3 Ilustrasi Debit Rencana Pada Terowongan *Bypass*

(4) Analisa Sedimentasi Waduk

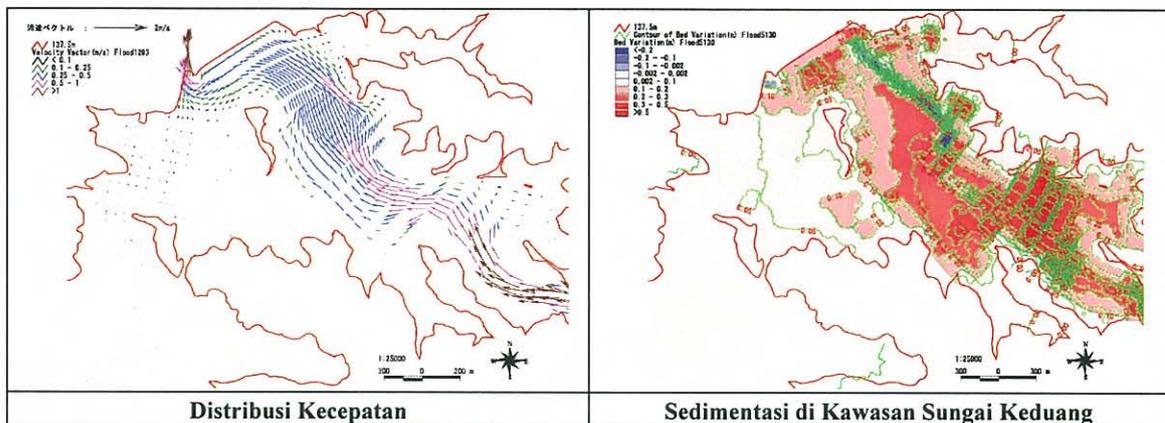
Dengan menggunakan model sedimentasi waduk Wonogiri (rincian di Bab 5), analisis sedimentasi waduk dilaksanakan dengan anggapan digunakan sistem *bypass* sedimen.

Karena keterbatasan waktu penghitungan untuk melakukan simulasi, maka dianggap aliran masuk (*inflow*) ke waduk pada musim hujan tahun 1998/1999 sebesar 1 560 juta m³). Hasil analisis dirangkuman pada Tabel 8.3.2 dan Gambar 8.3.4 di bawah.

Tabel 8.3.2 Neraca Sedimen pada Bypass Sedimen di Sungai Keduang

Fasilitas	Satuan	Outflow Sedimen				Endapan Sedimen di waduk	Sedimen total masuk dari Keduang
		Intake	Spillway sekarang	Terowong bypass	Total		
Kondisi saat ini	1,000 m ³	394	244	-	638	1,071	1,710
Sistem Bypass	1,000 m ³	189	91	476	757	953	1,710
(Selisih)	1,000 m ³	-205	-152	476	118	-118	
Air yang dilepas	MCM	806	90	182	1,078	-	
Konsentrasi	ppm	250	1,077	2,789	747	-	

Sumber: Tim Studi JICA



Sumber: Tim Studi JICA

Gambar 8.3.4 Kesimpulan Simulasi Bypass Sedimen di Sungai Keduang

Analisa sedimentasi waduk menunjukkan bahwa::

- i) Volume sedimen terbelokkan ke dalam terowong *bypass* sekitar 476,000 m³, atau sekitar 28% dari total aliran masuk sedimen dari sungai Keduang (1,710,000 m³).
- ii) Volume *outflow* sedimen dari intake yang ada saat ini akan berkurang menjadi 289,000 m³ dari 638,000 m³. Pengurangan volume menjadi 349,000 m³, setara dengan 55.0%.
- iii) Maka dari itu, peningkatan volume bersih pelepasan sedimen oleh sistem bypass sedimen hanya 118,000 m³, hanya 6.9% terhadap sedimen inflow dari sungai Keduang.
- iv) Volume air yang dibelokkan mencapai 181.6 juta m³ dan konsentrasi sedimen rata-rata 2,789 ppm.

(5) Kemungkinan Penerapan

Endapan sedimen di waduk Wonogiri sebagian besar terdiri dari material-material *wash load*. Sehingga usulan sistem bypass sedimen di sungai Keduang dapat diterap. Perlu diperhatikan berkaitan dengan kondisi topografi yang datar, kapasitas debit bypass sedimen menjadi relatif kecil dan demikian juga aliran masuk dari sungai Keduang dengan konsentrasi sedimen yang tinggi tidak dapat sepenuhnya dialihkan. Kemungkinan aliran sedimen yang cukup besar dari sungai Keduang tetap akan masuk Waduk Wonogiri.

8.3.2 Pengaliran Sedimen (*Sediment Sluicing*) Menggunakan Pintu-pintu Baru

(1) Gambaran Metode

Dalam metode ini banjir sedimen yang datang dari sungai Keduang dialirkan ke hilir bendungan Wonogiri melalui pintu-pintu baru sebelum sedimen mengendap di waduk. Pintu-pintu baru akan ditempatkan di kanan *abutment* bendungan. Metode ini membutuhkan modifikasi pedoman pengoperasian waduk yang digunakan saat ini, karena adanya kebutuhan pelepasan air dalam jumlah yang besar dan harus menurunkan muka air sampai elevasi endapan sedimen di depan bendungan.

Bendungan Wonogiri sangatlah besar dan kapasitas tampungannya juga sangat besar sehingga membutuhkan waktu yang lama untuk menurunkan muka air waduk. Disamping itu, laju *turn over* waduk sangat kecil yaitu rata-rata 2 – 3 kali per tahun. Dengan demikian, sulit untuk membuang sedimen dengan cara *sluicing* berdasarkan pedoman pengoperasian waduk Wonogiri saat ini. Tetapi, metode ini dapat diterapkan di awal musim hujan ketika muka air waduk terendah.

(2) Rencana Tataletak

Pada awal musim hujan di bulan Desember, aliran dari sungai Keduang mengalir di muka bendungan dan berbelok aliran ke kiri langsung menuju intake saat ini. Dengan tujuan melewati (*sluicing*) banjir aliran sedimen dari sungai Keduang ke hilir tanpa pengendapan sedimen di intake, *spillway* baru berpintu seharus di bangun di bagian kanan *abutment* bendungan Elevasi puncak *spillway* direncanakan pada EL.127.0 m sehingga dapat sedimen dilepas secara secara efisien.

Recana fasilitas ditunjukkan pada Tabel 8.3.3 dan rencana tataletak ditunjukkan pada Gambar 8.3.5.

Tabel 8.3.3 Rencana Fasilitas Pengaliran (*sluicing*) Sedimen dengan Pintu Baru

Fasilitas	Dimensi	
Pintu <i>sluicing</i> sedimen	Pintu radial	H 12.6 m x B 7.5 m x 4 nos.
<i>Spillway</i>	Tipe <i>spillway chute</i> dan kanal	B=30 m, L=723 m, I=1/108
Penggalian di <i>forebay</i>	Elevasi endapan sedimen	EL.127.0 m

Sumber: Tim Studi JICA

(3) Pengoperasian

Pada dasarnya pintu-pintu harus dibuka penuh sejak permulaan musim hujan sampai saat total volume pelepasan air mencapai 200 juta m³. Akan tetapi, menurut peraturan pedoman pengoperasian waduk saat ini, aliran pelepasan melalui pintu-pintu baru harus dikendalikan tidak melampaui 400 m³/det.

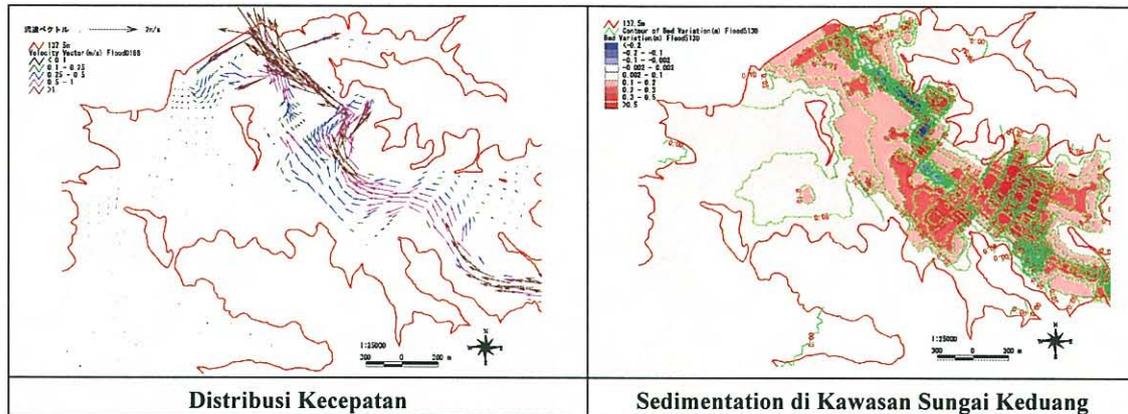
(4) Analisis Sedimentasi Waduk

Analisis sedimentasi waduk dilakukan dengan pengoperasian pintu-pintu pembuang baru yang disebutkan di atas. Seri hidrologi *inflow* waduk menggunakan data tahun 1998/1999. Hasil-hasil analisa dirangkum dalam Tabel 8.3.4 dan Gambar 8.3.6 berikut.

Tabel 8.3.4 Neraca Sedimen pada *Sluicing* menggunakan Pintu-pintu Baru

Fasilitas	Satuan	Outflow Sedimen				Pengendapan sedimen di waduk	Sedimen total mengalir dari S. Keduang
		Intake	Spillway saat ini	Pintu baru	Total		
Kondisi saat ini	1,000 m ³	394	244	-	638	1,071	1,710
<i>Sluicing</i>	1,000 m ³	334	-	509	843	866	1,710
(Selisih)	1,000 m ³	-60	-244	509	205	-205	
Air yang dilepas	MCM	878	-	200	1,078	-	
Konsentrasi	ppm	405	-	2,712	832	-	

Sumber: Tim Studi JICA



Sumber: Tim Studi JICA

Gambar 8.3.6 Hasil Simulasi Sedimentasi pada *Sluicing* menggunakan Pintu-pintu Baru

Temuan-temuan utama dari analisis sedimentasi waduk:

- i) Volume pengeluaran sedimen yang melalui pintu-pintu pembuang baru sekitar 843,000 m³, kira-kira 86,000 m³ lebih besar dibanding dengan *bypass* sedimen S.Keduang. Tambahan pengeluaran sedimen cara *sluicing* diperkirakan 205,000 m³.
- ii) Sebagian besar sampah dari S.Keduang diharapkan dapat dikeluarkan melalui pintu-pintu baru menuju ke bagian hilir bendungan.
- iii) Volume pelepasan air mencapai 200 juta m³ dan konsentrasi sedimen rata-rata mencapai 2,712 ppm.

(5) Kemungkinan Penerapan

Mengingat biaya pembangunan dan efisiensi pelepasan sedimen, pengglontoran sedimen dengan pintu-pintu baru akan lebih menarik dan efektif dari pada sistem *bypass* sedimen S.Keduang. Masukan sampah biasanya berpusat pada awal musim hujan. Jika pintu-pintu dibuka penuh sejak permulaan musim hujan, sampah dalam jumlah cukup besar akan dilepaskan ke bagian hilir bendungan. Semua pintu dan *spillway* baru akan dibangun di dalam kawasan bendungan Dam Wonogiri, sehingga tidak akan diperlukan pembebasan tanah untuk relokasi penduduk setempat.

8.3.3 Waduk Tampungan Sedimen dengan Pintu-pintu Baru di Waduk Wonogiri

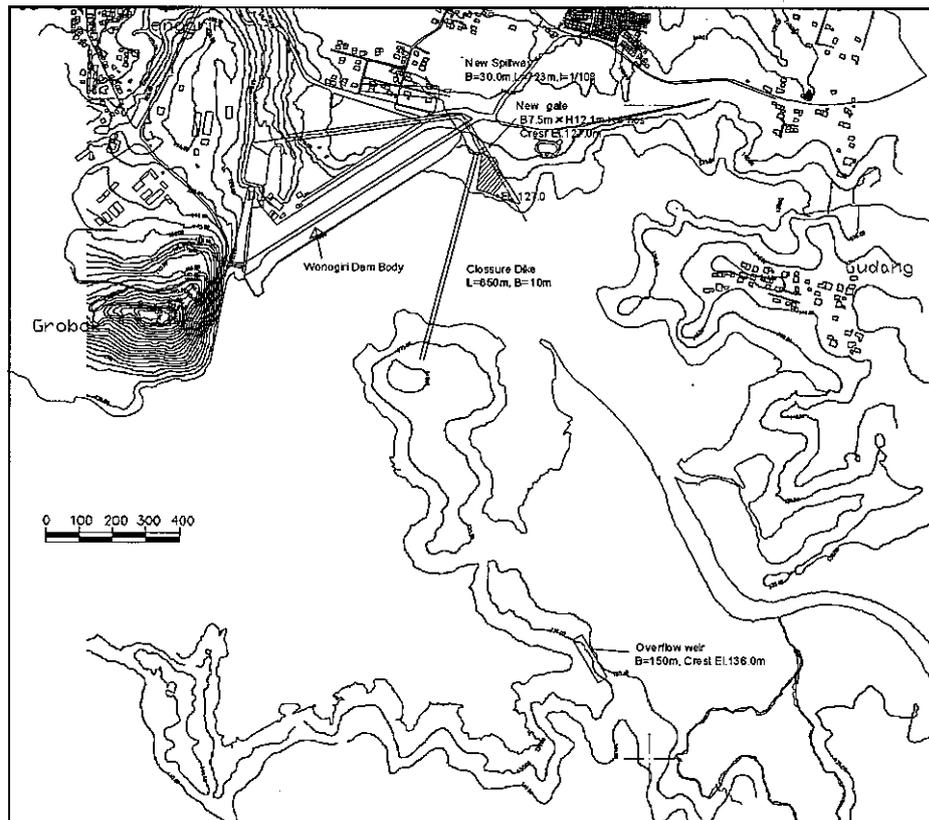
(1) Gambaran Metode

Menggunakan metode ini akan dibuat waduk tampungan sedimen kecil yang menampung aliran sedimen dari S.Keduang dengan cara memasang tanggul penutup di dalam waduk Wonogiri. Dengan demikian, waduk Wonogiri dipisah menjadi dua bendungan yang dioperasikan secara independen dan terpisah. Bagian-bagian yang terpisah dinamakan

bagian waduk Keduang dan bagian utama waduk Wonogiri. Seperti halnya *sluicing* sedimen dengan pintu-pintu baru, pintu-pintu baru akan dipasang di tempat yang sama. Jadi, melalui pintu baru tersebut, aliran banjir sedimen dari S.Keduang akan dilewatkan sebelum mengendap di waduk.

(2) Rencana Tataletak

Gambar 8.3.7 di bawah ini menunjukkan tataletak umum usulan rencana sistem waduk tampungan sedimen. Tampak Waduk Wonogiri dipisahkan oleh tanggul penutup menjadi dua bagian; bagian waduk penampung sedimen dan bagian utama waduk Wonogiri.



Sumber: Tim Studi JICA

Gambar 8.3.7 Tataletak Umum Waduk Penampung Sedimen dengan Pintu-pintu Baru

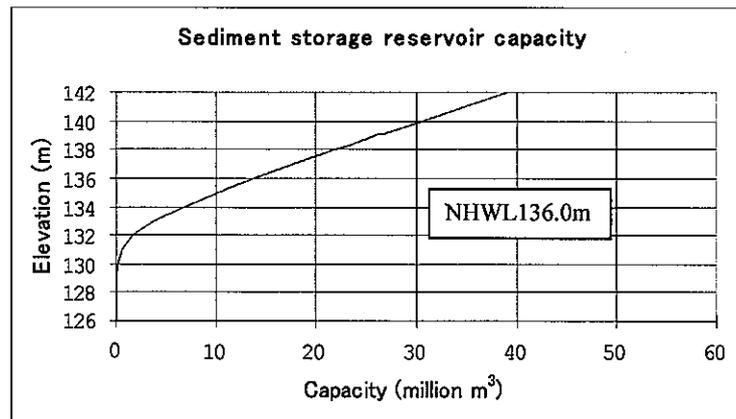
Tanggul penutup akan dibangun di dalam waduk menghubungkan *abutment* kanan bendungan dan dataran kecil (*peninsula*) di depan bendungan seperti terlihat di atas. Pintu-pintu baru akan dipasang di bagian waduk penampung sedimen. Karena pengendapan sedimen, kedalaman air pada NHWL 136.0 m di lokasi tanggul penutup hanya 6.0 m dan 21.0 m dari tanah dasar asli. Maka, *metode double-wall sheet pile* diusulkan sebagai tanggul penutup. Rencana fasilitas ditunjukkan dalam Tabel 8.3.5 dan rencana umum tataletak pada tanggul penutup ditunjukkan dalam Gambar 8.3.8.

Tabel 8.3.5 Rencana Fasilitas Waduk Penampung Sedimen dengan Pintu-pintu Baru

Fasilitas	Dimensi	
Tanggul penutup	Cara <i>double-wall sheet pile</i>	L=650 m, H=15.0 m, B=10.0 m
Tanggul pelimpah	<i>Filling</i> dan <i>revetment</i>	L=100 m, B=10 m
Pintu <i>sluicing / flushing</i>	Pintu radial	H12.6 m x B7.5 m x 4 buah.
<i>Spillway</i>	<i>Spillway</i> tipe <i>Chute</i> dan kanal	B=30 m, L=723 m, I=1/108
Penggalian di <i>forebay</i>	Ketinggian pengendapan sedimen	EL.127.0 m

Sumber: Tim Studi JICA

Kurva elevasi-kapasitas waduk penampung sedimen ditunjukkan dalam Gambar 8.3.9. Kapasitas tampung waduk penampung sedimen sekitar 14 juta m³ (hanya 2.3% dari total kapasitas waduk Wonogiri) pada NHWL.136.0 m dan aliran tahunan rata-rata sungai Keduang pada kurun tahun 1992-2005 sekitar 353 juta m³. Jadi, waduk penampung sedimen memiliki laju *turn-over* rata-rata 25 kali per tahun. Ini berarti bahwa kapasitas tampung bagian waduk penampung sedimen akan dengan mudah pulih kembali oleh aliran masuk setelah pengosongan waduk untuk pelepasan sedimen.



Sumber: Tim Studi JICA

Gambar 8.3.9 Kurva Kapasitas-Elevasi Waduk Penampung Sedimen

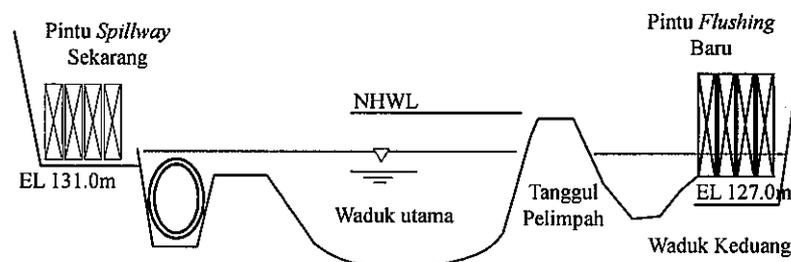
(3) Pengoperasian

Penggunaan waduk penampung sedimen akan berkelanjutan jika sisa-sisa sedimen secara efektif tergelontor dan *inflow* banjir sedimen dari S.Keduang secara efektif dilewatkan sebelum terjadi pengendapan. Bila tidak dilakukan pelepasan sedimen, waduk tampungan sedimen ini akan penuh terisi dengan sisa-sisa sedimen dalam waktu 20 tahun. Dalam kondisi ini, waduk tampungan sedimen menjadi seperti *sabo dam*. Pengaliran sedimen (*sediment routing*) dan pengglontorannya dibayangkan secara efektif akan memanfaatkan tenaga air (kapasitas pengangkutan sedimen) dengan biaya yang lebih rendah.

Bagian waduk penampung sedimen dioperasikan berdasarkan pada pedoman pengoperasian waduk sebagai berikut:

a. Pada permulaan musim hujan (Nopember sampai Desember):

Inflow dari seluruh anak-anak sungai sepenuhnya disimpan di waduk utama Wonogiri dan waduk penampung sedimen. Waduk melepasnya untuk PLTA. Pintu-pintu baru ditutup seperti ilustrasi di bawah ini.

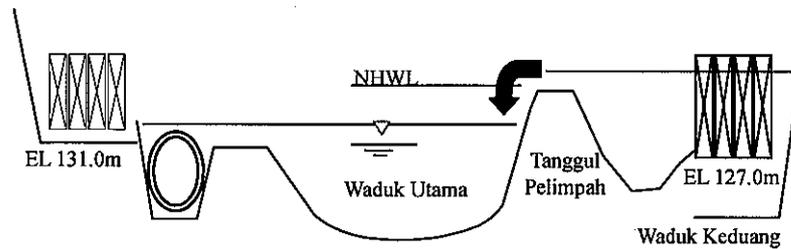


Gambar 8.3.10 Ilustrasi Pengoperasian Waduk Tampungan Sedimen (1/3)

b. Pada pertengahan musim penghujan (Desember sampai Januari)

Karena waduk penampung sedimen kapasitasnya sangat kecil, maka ketinggian air akan

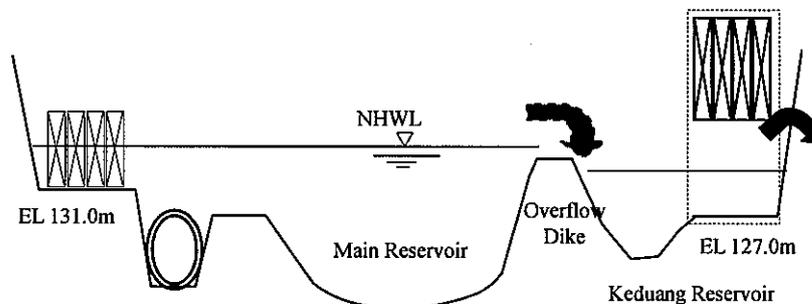
meningkat dengan cepat. Ketika tinggi muka air waduk penampung sedimen melebihi puncak tanggul pelimpah, air dari waduk penampung sedimen melimpas ke dalam waduk utama Wonogiri seperti digambarkan di bawah ini.



Gambar 8.3.10 Ilustrasi Pengoperasian Waduk Tampung Sedimen (2/3)

c. Dalam akhir musim hujan (Pebruari sampai April)

Jika muka air waduk utama Wonogiri menjadi CWL 135.3 m, persediaan air akan sempurna. Bila terjadi banjir di S.Keduang, pintu-pintu baru harus dibuka untuk mengalirkan inflow sedimen tanpa pengendapan di dalam waduk. Sebaliknya, sewaktu muka air di waduk Wonogiri melebihi CWL berkaitan dengan inflow banjir dari anak-anak sungai yang lain, tumpukan air belawanan mengalir ke dalam waduk tumpukan sedimen (waduk Keduang) melimpas tanggul overflow seperti ditunjukkan di bawah ini. Sewaktu terjadi kelebihan air, kelebihan air akan dilepas melalui pintu-pintu baru sebagai pengganti existing spillway sampai berakhirnya musim hujan (April 15).



Gambar 8.3.10 Ilustrasi Pengoperasian Waduk Tampung Sedimen (3/3)

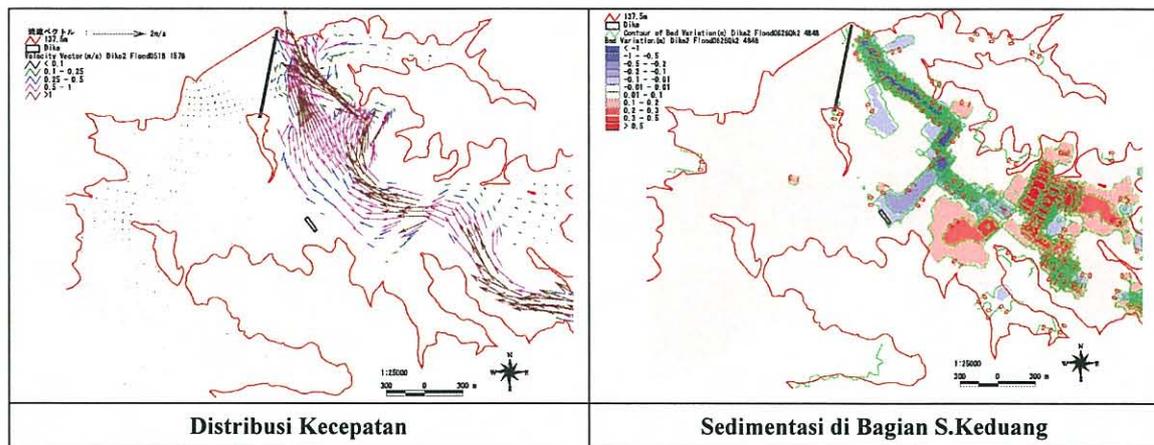
(4) Analisis Sedimentasi Waduk

Dengan menerapkan prosedur pengoperasian waduk seperti di atas, dilakukan analisis sedimentasi waduk dengan ringkasan seperti di bawah ini.

Tabel 8.3.6 Neraca Sedimen di Waduk Tampung Sedimen dengan Pintu-pintu Baru

Fasilitas	Satuan	Outflow Sedimen				Pengendapan Sedimen ke Waduk	Total Aliran Sedimen dari S. Keduang
		Intake	Spillway saat ini	Pintu baru	Total		
Kondisi saat ini	1,000 m ³	394	244	-	638	1,071	1,710
Waduk Penampung Sedimen	1,000 m ³	100	-	1,280	1,380	330	1,710
(Selisih)	1,000 m ³	-294	-244	-1,280	742	-741	
Pelepasan air	MCM	607	-	670	1,277	-	
Konsentrasi	ppm	176	-	2,037	1,152	-	

Sumber: Tim Studi JICA



Sumber: Tim Studi JICA

Gambar 8.3.11 Hasil Simulasi Waduk Tampungan Sedimen dengan Pintu-pintu Baru

Analisis sedimentasi waduk menunjukkan bahwa:

- i) Volume pelepasan sedimen melalui pintu-pintu baru sekitar 1,280,000 m³ yang dapat disamakan dengan sekitar 75% total volume aliran sedimen dari S.Keduang.
- ii) Seluruh sampah dari S.Keduang akan sepenuhnya ditahan di bagian waduk Keduang dan dilepaskan ke bagian hilir bendungan.
- iii) Sebagian besar aliran sedimen dari S.Keduang tertahan di bagian waduk Keduang. Karena itu volume pelepasan sedimen melalui *intake* untuk PLTA secara drastis menjadi kecil. Hampir tidak terjadi sedimentasi pada lokasi di depan intake.
- iv) Dari kondisi saat ini, volume sedimen yang dilepas dari waduk Wonogiri bertambah 741,000 m³.

(5) Kemungkinan Penerapan

Diantara alternatif-alternatif penanggulangan aliran sedimen dari sungai Keduang, sistem waduk tampungan sedimen menunjukkan efisiensi tertinggi dilihat dari volume sedimen yang dilepaskan. Isu masalah sampah pada intake saat ini akan sepenuhnya terpecahkan karena sampah yang tertahan di bagian waduk Keduang akan diglontor atau tetap pada bagian waduk. Semua komponen sitem akan dibangun di dalam kawasan bendungan Wonogiri tanpa pemindahan penduduk setempat. Tanggul penutup pada sistem waduk tampungan sedimen merupakan keuntungan/keunggulan teknik, karena ketinggian air waduk Wonogiri (waduk utama) akan tetap terpelihara di saat pengoperasian pelepasan sedimen dilakukan dengan pembukaan pintu-pintu baru.

Perlu dicatat bahwa analisis simulasi di atas dilakukan untuk menilai efektifitas kemampuan pelepasan sedimen pada waduk tampungan sedimen menurut aturan pedoman pengoperasian waduk, sehingga volume pelepasan air melalui pintu-pintu baru dibatasi hingga 670 juta m³. Operasi pelepasan sedimen terutama bergantung pada situasi keberadaan kelebihan air. Pelepasan sedimen dari waduk tampungan sedimen tidak akan dilaksanakan setiap tahun. Kelebihan air dilepas melalui *spillway* yang sudah ada saat ini. Pelepasan kelebihan air dari waduk Wonogiri dilakukan melalui pintu-pintu baru bukan dari pintu-pintu *spillway* yang sudah ada.

8.4 Penanganan Aliran Sedimen dari Anak-anak Sungai yang lain

8.4.1 Bendungan Penampung Sedimen (*Sediment Storage Dam*) untuk Pembuangan Sedimen

(1) Gambaran Metode

Dam penampung sedimen merupakan upaya penanganan yang banyak dilakukan untuk mengatasi permasalahan sedimentasi waduk. Dam ini direncanakan di mulut sungai anak-anak sungai utama untuk menahan dan menampung aliran sedimen dan kemudian digali untuk dipindahkan. Pembuangan endapan sedimen secara berkala harus dilakukan dalam musim kering untuk memelihara fungsi tampungan yang menampung aliran sedimen dari anak sungai. Bahan galian sedimen dapat dimanfaatkan sebagai agregat beton.

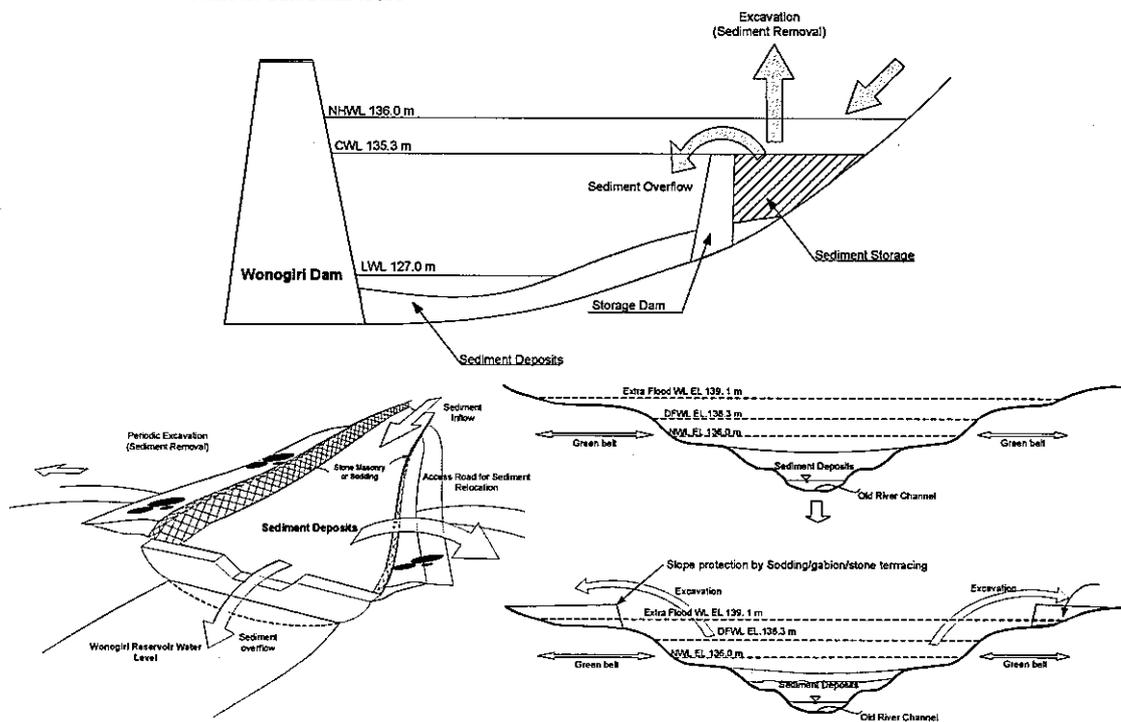
(2) Rencana Tataletak

Rencana fasilitas bendungan penampung sedimen sungai Keduang ditunjukkan pada Tabel 8.4.1 dibawah. Gambar 8.4.1 menggambarkan bendungan penampung sedimen untuk pembuangan sedimen. Elevasi puncak bendungan diatur sama dengan muka air pengendalian pada EL.135.3 m. Kapasitas tampung bendungan penampung sedimen sekitar 24,000 m³, mengakomodasi hanya 1.4% dari total aliran sedimen sungai Keduang.

Tabel 8.4.1 Tipikal Rencana Fasilitas Dam Penampung Sedimen

Item	Dimensi
Lebar Dam	W = 115.9 m
Tinggi of Dam	H = 9.3 m
Debit Rencana	Q = 1,370 m ³ /s
Lebar pelimpah	B = 70 m
Kedalaman pelimpah	H = 4.9 m
Kapasitas	V = 24,000 m ³

Sumber: Tim Studi JICA



Sumber: Tim Studi JICA

Gambar 8.4.1 Ilustrasi Bendungan Penampung Sedimen untuk Pembuangan Sedimen

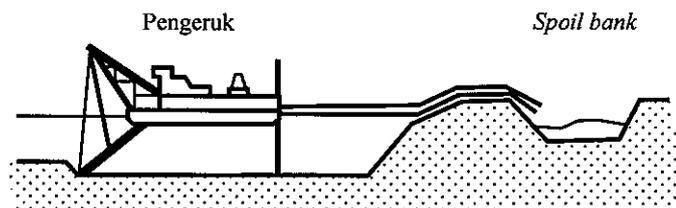
(3) Kemungkinan Penerapan

Andaikan seluruh aliran sedimen dari sungai Keduang tertahan di bendungan penampung sedimen, maka pembuangan sedimen harus dilakukan 72 kali setiap tahun. Selanjutnya diperlukan lahan pembuangan yang besar. Biaya O/M tahunan akan sangat tinggi karena pekerjaan galian yang hampir terus menerus untuk mengembalikan kapasitas bendungan. Mayoritas endapan sedimen di waduk Wonogiri terdiri atas material-material yang sangat halus seperti lanau dan lempung yang terangkut dari anak-anak sungai utama sebagai *suspended load* dan *wash load*. Material halus ini cenderung mengalir melimpasi bendungan tampungan sedimen tanpa mengendap. Material-material yang tertahan mungkin akan berujung endapan-endapan kasar (*bed load materials*). Ditinjau dari sisi keberlanjutan dan keekonomisan upaya penanganan sedimentasi waduk Wonogiri, waduk tampungan sedimen dianggap tidak praktis dan tidak dapat diterapkan.

8.4.2 Pengerukan dengan cara hidrolis (*Hydraulic Dredging*) di Waduk

(1) Gambaran Metode

Metode ini memindahkan endapan sedimen di waduk dengan pengerukan secara hidralik (*hydraulic dredging*) - cara penanganan yang sudah umum dilakukan untuk membuang sedimen di beberapa waduk.



Gambaran *Hydraulic Dredging*

(2) Rencana Tataletak

Tabel 8.4.2 menunjukkan perbandingan perkiraan pekerjaan yang diperlukan dalam pekerjaan *hydraulic dredging* di seluruh waduk dan areal tampungan S.Keduang. Lima (5) kapal keruk (*dredger*) di areal tampungan sungai Keduang dan 15 di seluruh kawasan waduk Wonogiri diperlukan untuk mengeruk seluruh rerata aliran sedimen tahunan. Untuk merealisasikan metode ini, diperlukan spoil bank yang luas dan biaya yang besar.

Tabel 8.4.2 Pekerjaan dan Biaya Pengerukan

Lokasi	Satuan	Seluruh Waduk	Kawasan waduk Keduang
Aliran sedimen	m ³	3,000,000	1,000,000
Volume pengerukan	m ³ /bulan	500,000	167,000
	m ³ /hari	20,000	6,680
Produktivitas <i>dredger</i>	m ³ /bulan	39,990	39,990
	m ³ /hari	1,333	1,333
<i>Dredger</i> yang diperlukan	Unit	15	5
Running cost per year	Rp	71.7 milyar	23.9 milyar

* Biaya satuan dredging = Rp.23,900 (berdasarkan data yang ada saat ini)

Sumber: Tim Studi JICA

(3) Kemungkinan Penerapan

Pengerukan dengan hidrolis dilaksanakan pada bangunan intake waduk Wonogiri tahun 2003 (sekitar 250,000 m³). Tetapi pengerukan cara hidrolis ini memerlukan lahan *spoil bank* yang besar untuk membuang endapan sedimen tahunan dari anak-anak sungai yang lain, sekitar 1.96 juta m³ (lihat Gambar 7.4.2). Pada dasarnya, metode ini hanya dapat

direkomendasikan sebagai pekerjaan tambahan dikerjakan bersama-sama dengan penanganan-penanganan lain atau upaya mendesak untuk menanggulangi penyumbatan bangunan intake. Selanjutnya seperti ditunjukkan di atas, diperlukan biaya pengoperasian yang tinggi. Ditinjau dari keberlanjutan dan keekonomisan upaya penanggulangan sedimentasi waduk Wonogiri, pengerukan dengan hidrolis dianggap tidak praktis dan tidak mudah dilaksanakan.

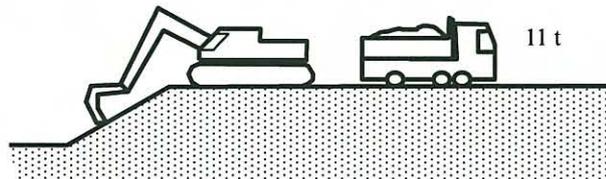
8.4.3 Penggalian kering (*dry excavation*) di Waduk

(1) Gambaran Metode

Dalam musim kering endapan sedimen terlihat pada muka tanah di muara-muara sungai di waduk (lihat photo). Diusulkan penggalian kering di dekat muara anak-anak sungai. Penggalian kering dapat dilakukan pada musim kemarau dengan menggunakan *back hoe* atau *crawler-mounted bulldozer* di daerah berawa dan galian sedimen akan diangkut ke *spoil bank* dengan truk. Metode ini merupakan penanganan umum dan termurah untuk pembuangan endapan sedimen dalam waduk.



Foto: Endapan sedimen dekat muara sungai Solo and Alang



Gambaran Penggalian Kering

(2) Kemungkinan Penerapan

Pengerukan semua sedimen yang mengendap di dalam waduk dengan hanya menggunakan *dry excavation* merupakan tindakan tidak realistis dan tidak praktis. *Spoil bank* yang tersedia di sekitar waduk sangat terbatas. Metode ini hanya disarankan sebagai upaya tambahan dilakukan bersama-sama upaya penanganan lainnya. Ditinjau dari keberlanjutan dan keekonomisan upaya penanganan sedimentasi waduk Wonogiri, penggalian kering dalam waduk tidak layak dilaksanakan.

8.4.4 Mengelola sedimen di dalam waduk dengan Pelepasan Air dari Intake

(1) Gambaran Metode

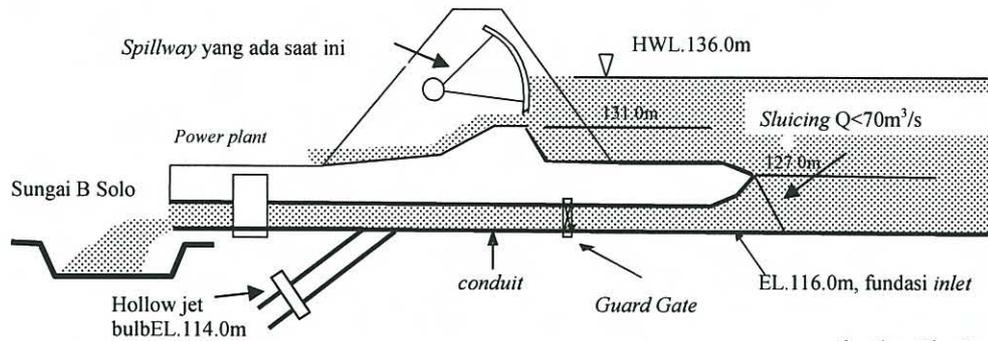
Metode ini bertujuan untuk mengalirkan endapan sedimen ke zona tampungan sedimen (*dead zone*) waduk, sehingga dapat memelihara atau meningkatkan kapasitas efektif waduk. Pada awal musim hujan - dalam jangka panjang, debit maksimum air *intake* digunakan untuk *membuat aliran keruh* (dari endapan).

(2) Rencana Tataletak

Fasilitas outlet yang baru tidak diperlukan dalam metode ini, kecuali pengadaan fasilitas pembuangan sampah. Fasilitas yang digunakan dalam metode ini adalah,

- i) Intake yang ada sekarang: debit maksimum intake $70 \text{ m}^3/\text{det}$
- ii) Fasilitas penahan sampah di intake
- iii) Fasilitas penahan sampah di sungai Keduang

Gambaran pengelolaan sedimen dalam waduk ditunjukkan dalam Gambar 8.4.2 di bawah.



Sumber: Tim Studi JICA

Gambar 8.4.2 Gambaran Pelepasan Sedimen Melalui Outlet Saat Ini

(3) Pengoperasian

Intake untuk PLTA yang ada saat ini digunakan dengan debit maksimum 70 m³/det, yang di awal musim hujan air ini mengandung sedimen dengan konsentrasi tinggi. Pada saat volume total *outflow* menjadi 200 juta m³, debit *intake* harus dikendalikan berdasarkan kurva pedoman pengoperasian waduk yang digunakan saat ini.

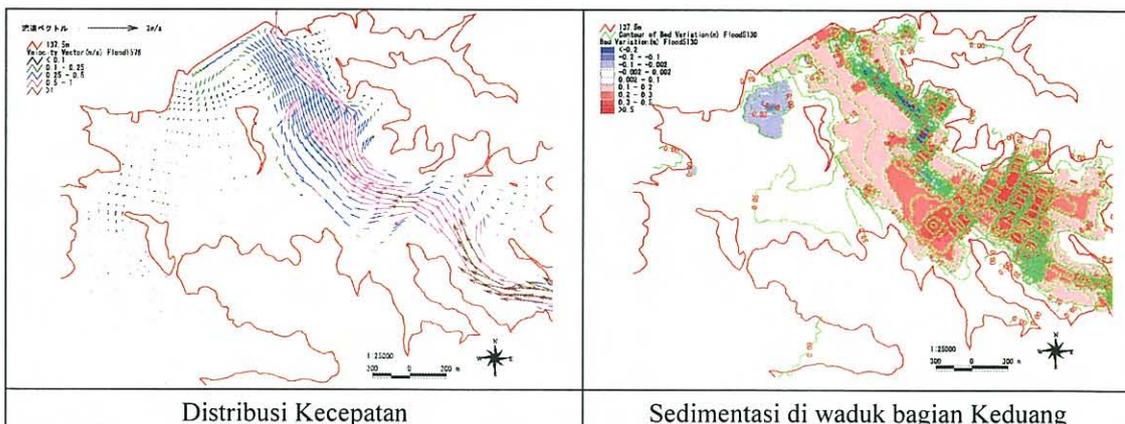
(4) Analisis Sedimentasi Waduk

Analisis sedimentasi waduk dibuat dengan menerapkan prosedur pengoperasian yang disebutkan di atas. Digunakan *inflow* waduk dari data hidrologi tahun 1998/1999. Ringkasan hasil analisis disajikan di Tabel 8.4.3 dan Gambar 8.4.3 di bawah.

Tabel 8.4.3 Neraca Sedimen pada Pengelolaan Sedimen dalam Waduk dengan Pelepasan Air Melalui *Intake*

Fasilitas	Satuan	Outflow sedimen				Endapan Sedimen dalam waduk	Total Aliran Sedimen dari S. Keduang
		Intake	Spillway saat ini	Bypass tunnel	Total		
Sistem saat ini	1000 m ³	394	244	-	638	1,071	1,710
Cara ini	1000 m ³	498	264	0	762	948	1,710
(Selisih)	1000 m ³	103	20	0	123	-123	
Air <i>outflow</i>	MCM	859	186	0	1,045	-	
Konsentrasi	ppm	617	-	0	775	-	

Sumber: Tim Studi JICA



Sumber: Tim Studi JICA

Gambar 8.4.3 Hasil Simulasi Pengelolaan Sedimen dengan Pelepasan Air Melalui *Intake*

Rangkuman neraca sedimen selama musim hujan tahun 1998-1999 sebagai berikut.

- i) Total volume *outflow* sedimen 762,000 m³, setara 44.6% dari *total inflow*

sedimen (1,710,000 m³) dari S.Keduang.

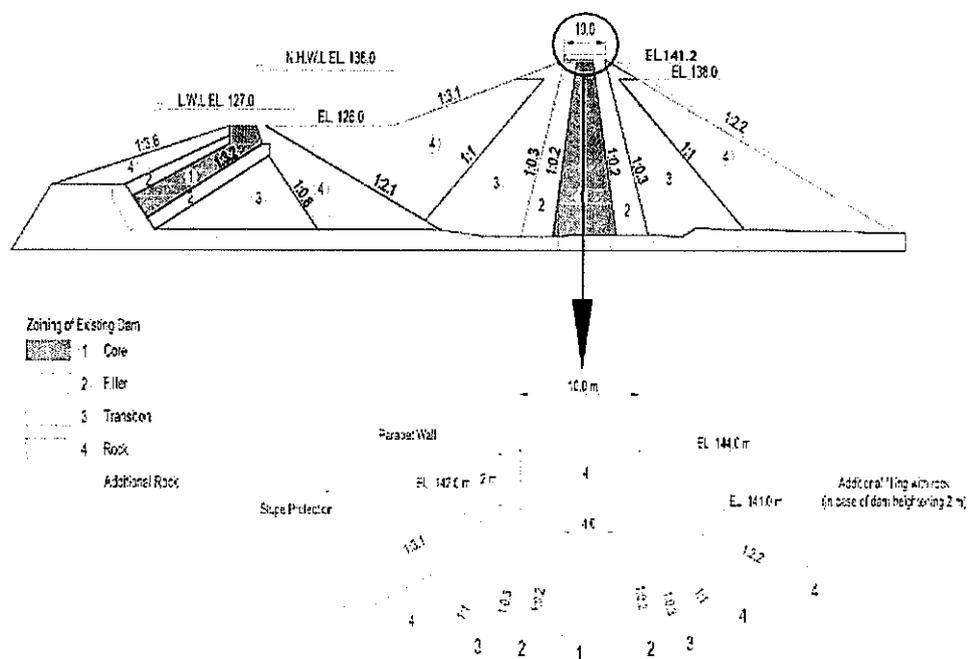
- ii) Peningkatan volume *outflow* sedimen 123,000 m³.
- iii) Dari simulasi waduk, konsentrasi sedimen yang keluar dari existing intake adalah sekitar 1.3 - 2.5 kali lebih banyak dari pada sistem lain. Namun karena rata-rata konsentrasinya hanya 617 ppm, tidak ada efek negatif terhadap terowongan *intake* dan turbin PLTA.

(5) Kemungkinan Penerapan

Metode ini menggunakan existing intake untuk melepaskan sedimen. Karena kebanyakan sedimen yang dilepas jenis *wash load*, tidak ada akibat erosi turbin yang serius di terowongan intake PLTA. Pengaruh metode ini tergantung pada ada atau tidak adanya penyumbatan di intake saat ini. Pada kondisi saat ini sering terjadi penyumbatan sampah di *intake* Bendungan Wonogiri, sehingga kelayaakan metode ini dipertimbangkan rendah. Sitem pembuangan sampah pada intake pasti sangat diperlukan. Kerugian metode ini adalah jumlah air yang cukup banyak harus dilepas melalui PLTA, sehingga ada resiko tidak tercapainya ketinggian air waduk NHWL. Penggunaan metode ini memerlukan modifikasi pedoman pengoperasian waduk yang digunakan saat ini.

8.4.5 Meninggikan Tinggi Bendungan

Metode ini menaikkan puncak bendungan sehingga diperoleh kapasitas tampungan yang efektif. Karena kapasitas tampungan waduk bertambah besar pada bagian tinggi genangan waduk, diperoleh efisiensi tinggi untuk mendapatkan tampungan efektif. Namun peninggian bendungan tidak dapat dilaksanakan pada setiap bendungan. Hal ini tergantung pada beberapa unsur seperti kondisi geografi dan geologi, struktur keamanan bendungan, daerah yang terpengaruh *back water*, dan dampak sosial pada lingkungan masyarakat. Dan hampir semua *auxiliary structure* harus diperbaharui lagi. Oleh karena itu dibutuhkan perencanaan dengan tingkat sama dengan merencanakan bendungan baru. Untuk menjamin terpenuhinya tampungan efektif waduk diperkirakan perlu meninggikan bendungan Wonogiri hingga 2 m saja. Jika peninggian dibuat 1 m, kira-kira 75 juta m³ kapasitasnya akan bertambah. Jika seandainya 2 m, kapasitas waduk akan bertambah menjadi lebih dari 150 juta m³. Gambar 8.4.4 ilustrasi peninggian bendungan Wonogiri.



Sumber: Tim Studi JICA

Gambar 8.4.4 Penampang Melintang Tipikal Peninggian Dam

Akan tetapi ada banyak kepemilikan tanah seperti rumah dan sawah di sekitar waduk. Jadi peninggian bendungan mungkin akan membawa masalah-masalah sosial yang serius. Kalau dampak sosial dan lingkungan diestimasi kecil, metode ini akan menjadi salah satu alternatif yang menjajikan. Pada pertemuan *Steering Committee Studi* yang diselenggarakan di Jakarta pada tanggal 22 Agustus 2005, gagasan peninggian waduk Wonogiri bukan merupakan kesimpulan yang dapat direkomendasikan, karena mungkin akan menyebabkan dampak yang sangat luas seperti badan bendungan, bertambahnya areal waduk, masalah-nasalah sosial dan lain sebagainya.

8.5 Pengalokasian Ualang (*Re-allocation*) Kapasitas Tampungan Waduk

Jika waduk Wonogiri mensuplai air mengacu pada pedoman pengoperasian yang ada, kondisi sedimentasi waduk yang ada saat ini menyebabkan suplei air berkurang sekitar 75 juta m³. Hal ini berdampak serius bagi pihak-pihak pengguna air di hilir karena mereka terbiasa dengan praktek penggunaan air sekarang ini, walaupun total tampungan di waduk melebihi volume alokasi tampungan awal. Jaminan suplei air merupakan kebutuhan bagi para stakeholder. Oleh sebab itu, evaluasi terhadap sisa tampunagn re-alokasi kapasitas tampung yang ada pada tahun 2005 dibuat untuk menjamin suplei air dari waduk Wonogiri.

8.5.1 Kajian Tinggi Jagaan (*Freeboard*) Bendungan

Kajian dari pedoman pengoperasian waduk dan konsep dasar operasi waduk, serta tinggi jagaan bendungan di bahas rinci pada Laporan Pendukung Lampiran No. 7.

Freeboard adalah jarak vertikal antara puncak zona tidak lolos air pada timbunan (*without camber*) dan muka air bendungan. Tinggi jagaan merupakan factor keamanan terhadap hal-hal tidak terduga seperti penurunan bendungan, kejadian aliran banjir yang lebih besar dari banjir rencana, atau rusak atau tidak berfungsinya pengendali *spillway* atau *outlet* dan lain sebagainya.

Untuk menetapkan tinggi jagaan dan menentukan elevasi puncak zona tidak lolos air bendungan, tiga (3) kasus berikut digunakan sebagai pertimbangan. Kriteria dari Kasus 1 dan 2 terdapat di buku "*Design of Small Dams*" dan Kasus 3 terdapat di "*Design Criteria for Dams of Japan*".

Kasus 1: PMF terjadi dan *spillway* berfungsi sesuai rencana. Dalam kasus ini *freeboard* dibutuhkan untuk mencegah kenaikan permukaan air melampaui *impervious core zone* dari timbunan akibat gelombang yang bisa datang bersamaan dengan terjadinya banjir maksimum yang mungkin terjadi.

Kasus 2: PMF terjadi ketika *spillway malfunction* akibat kesalahan manusia atau kegagalan mekanik dalam membuka pintu-pintu. Dalam hal ini, gelombang atau hal-hal tidak terduga lain tidak diijinkan untuk terjadi, tetapi bendungan harus tidak melimpas (*overtopped*).

Kasus 3: Banjir rencana terjadi ketika *spillway* berfungsi seperti yang direncanakan. Dalam kasus ini *freeboard* melayani adanya gelombang, *malfunction* dari pintu *spillway* dan tipe bendungan – tipe timbunan atau bukan. Jika setengah tinggi gelombang akibat gempa melebihi tinggi gelombang akibat angin, maka *the former is adopted instead of the latter*.

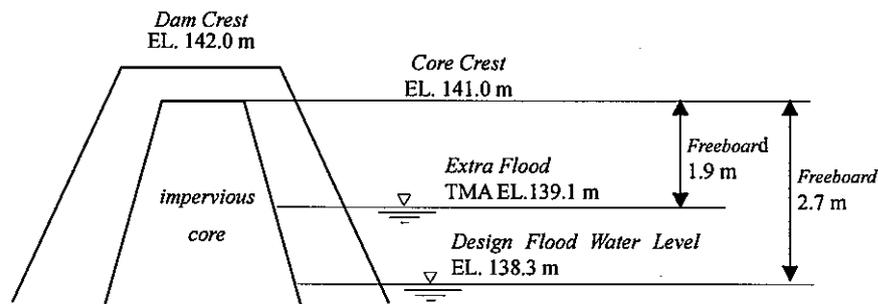
Hasil perhitungan tiga kasus di atas diringkas pada Tabel 8.5.1 di bawah.

Tabel 8.5.1 Ringkasan Hitungan Tinggi Jagaan pada Bendung Wonogiri

No. Kasus	TMA Waduk Maks.	Tinggi Jagaan			Elevasi Zona Tidak Lolos Air				
1	EFWL 139.1	+	Wave 1.8	=	140.9 \leq EL.141.0m				
2	140.9	+	0	=	140.9 \leq EL.141.0m				
3	DFWL 138.3	+	Wave 1.2	+	Pintu 0.5	+	Earth fill dam 1.0	=	141.0 \leq EL.141.0m

Sumber: *Wonogiri Multipurpose Dam Project, Part I Summary Report on Detailed Engineering Services, January 1978*

Disimpulkan elevasi puncak *tidak lolos air* ditetapkan pada EL. 141.0 m seperti diilustrasikan dibawah. Freeboard 1.9 m untuk ekstra banjir dengan muka air El. 139.1 m dan 2.7 m diatas DFWL pada El. 138.3 m guna mencegah muka air waduk naik melimpas zona *tidak lolos air* pada timbunan bendung.



Gambar 8.5.1 Tinggi Jagaan (*Freeboard*) Dam Wonogiri

8.5.2 Kesimpulan Kemungkinan Re-alokasi

Waduk Wonogiri telah kehilangan sekitar 49% kapasitas tampungan sedimen dan 13% kapasitas tampungan efektif. Solusi yang dapat dilakukan untuk memulihkan kapasitas tampung adalah meninggikan NHWL EL. 136.0 m tanpa mengurangi keamanan bendungan. Untuk menjaga keamanan bendungan dari melimpas, muka air banjir ekstra dan DFWL harus tidak dimodifikasi tanpa meninggikan *impervious core zone of dam embankment*.

Jika NHWL dinaikkan, perlu meninggikan CWL atau memperpanjang periode *recovery* dari April 15 - April 30 sehingga muka air waduk dapat kembali ke NHWL dari CWL selama periode pemulihan. Dalam kasus meninggikan CWL, tampungan pengendalian banjir (*flood control storage*) dan PMF *control storage* akan dikurangi karena DFWL dan muka air banjir ekstra tidak dapat dinaikkan. Konstruksi spillway baru dapat menjadi suatu solusi terhadap pengurangan PMF *flood control storage* dengan pengaruh pada peningkatan pelepasan debit. Namun, terdapat kendala dalam operasional pengendalian banjir yang tetap mengeluarkan debit tidak lebih dari 400 m³/det selama *inflow debit* kurang dari *Standard Highest Flood Discharge* (4,000m³/det) meskipun kapasitas debit melalui spillway dapat dinaikkan dengan spillway baru. Karena kendala ini terkait dengan aturan pengoperasian pengendalian banjir, NHWL tidak dapat dinaikkan.

Kesimpulannya, re-alokasi kapasitas tampungan yang tersisa saat ini tidak dapat dilakukan tanpa meninggikan tubuh bendungan. Terdapat beberapa kemungkinan untuk memperpanjang periode *recovery* namun membutuhkan studi yang rinci.

8.6 Ringkasan Penanganan

Alternatif pengelolaan untuk i) endapan sedimen dan sampah di intake, ii) aliran sediment dari S.Keduang dan iii) aliran sediment dari anak-anak sungai yang lain, dikaji secara terpisah untuk perbandingan dari aspek teknik dan aspek ekonomi. Hasil kajian dan perbandingan alternatif disajikan masing-masing dalam Tabel-tabel 8.6.1 - 8.6.3.