

# PENERAPAN TEKNOLOGI SABO PADA SUNGAI SUNGAI DI WILAYAH GUNUNG KELUD UNTUK MENGURANGI SEDIMENTASI WADUK WLINGI

Agus Sumaryono<sup>1</sup>, Djudi<sup>2</sup>, Dyah Ayu Puspitosari<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Peneliti Utama, <sup>2</sup>Peneliti Muda dan <sup>3</sup>Calon Peneliti

Balai Sabo, Pusat Litbang SDA, Badan Litbang PU, Kementerian Pekerjaan Umum  
Sopalan, Maguwoharjo, Yogyakarta-55282, Tel. 0274-886350, Fax. 0274-885431  
E-mail: ir\_agus\_sumaryono@yahoo.co.id

Diterima: Maret 2011; Disetujui: 2011

## ABSTRAK

*Waduk Wlingi telah dioperasikan sejak tahun 1977 dan sekarang mengalami permasalahan sedimentasi. Setelah letusan Gunung Kelud tahun 1990, laju sedimentasi waduk Wlingi meningkat secara signifikan. Volume total rencana adalah 24 juta m<sup>3</sup>, pada tahun 1998 volume waduk 4,454 juta m<sup>3</sup> dan volume waduk tahun 2006 hanya 3,348 juta m<sup>3</sup>. Setelah dioperasikan selama 29 tahun sejak tahun 1977 sampai tahun 2006, volume total waduk telah berkurang sebesar 86% dari volume waduk awal. Untuk menurunkan laju sedimentasi waduk yang sedimennya berasal dari Gunung Kelud, Kementrian P.U. telah membuat bangunan sabo di sungai-sungai berhulu di Gunung Kelud yang mengalir ke Waduk Wlingi. Disamping itu untuk pemeliharaan waduk agar waduk dapat beroperasi untuk memenuhi kebutuhan air irigasi dan PLTA telah dilakukan pengerukan secara berkala yang dilakukan oleh Perum Jasa Tirta I. Bangunan-bangunan sabo yang telah dibuat di sungai-sungai K. Putih, K. Jari, K. Semut dan K. Lekso telah berfungsi untuk mengendalikan aliran sedimen dari sumbernya di sekitar puncak dan lereng Gunung Kelud menuju ke Waduk Wlingi dengan kapasitas tampungan 43,15 juta m<sup>3</sup>. Sedimen yang tertampung pada bangunan sabo sebesar 29,11 juta m<sup>3</sup>, jadi sisa tampungan sedimen pada bangunan sabo di keempat sungai tersebut masih 14,04 juta m<sup>3</sup>. Dengan demikian maka usaha mengurangi laju sedimentasi waduk yang berasal dari sungai-sungai yang berhulu di Gunung Kelud telah menunjukkan keberhasilannya bahkan kapasitas tampungan sedimen dari bangunan sabo masih memadai untuk menampung material vulkanik yang berasal dari letusan Gunung Kelud yang akan datang.*

**Kata kunci :** Teknologi sabo, sedimentasi waduk, sungai lahar, bangunan sabo, gunungapi

## ABSTRACT

*Wlingi Reservoir which had been operated since 1977 suffered from sedimentation problem. After the eruption of Kelud Volcano in 1990, the rate of sedimentation in Wlingi Reservoir had increased significantly. The planned total volume of the reservoir was 24 million m<sup>3</sup>, the total volume of it was 4,454 million m<sup>3</sup> in 1998 and the volume of it in 2006 was 3,348 million m<sup>3</sup>. After the operation of the reservoir for 29 years since 1977, the total volume of reservoir had reduced 86% of the initial total volume. In order to decrease the rate of sedimentation of Wlingi Reservoir, Ministry of Public Works has constructed sabo facilities such as check dams, ground sill, consolidation dams and lahar pockets along the lahar rivers which are originated from Kelud Volcano. Besides that, in order to maintain the volume of water in the reservoir for irrigation and hydro power plant purposes, periodical dredging has been done by "Perum Jasa Tirta I". The sabo structures which had been already constructed at K. Putih, K. Jari, K. Semut and K. Lekso had been well functioned to control sediment discharges from the sediment sources at the slope of Kelud Volcano to the Wlingi Reservoir with the capacity of 43,15 million m<sup>3</sup>. The existing volume of sediment which has been deposited at the sabo structures is 29,11 million m<sup>3</sup> and the remained spaces of the sabo structures to trap the sediment transported from the upstream is 14,04 million m<sup>3</sup>. So that the effort to decrease the rate of reservoir sedimentation has successfully done and moreover the remained volume of sediment trap capacity at the sabo structures is large enough when the debris flow occurred after the possibility of volcanic eruption in the future.*

**Keywords:** Sabo technology, reservoir sedimentation, lahar rivers, sabo structures, volcano

## PENDAHULUAN

Letusan G. Kelud tahun 1990 menghasilkan piroklastik dan lahar panas berupa material vulkanik yang menyebar ke semua arah dan mengendap di sekitar puncak, lereng dan kaki

gunung. Endapan lahar panas dan piroklastik terdiri dari batu-batu, kerikil, pasir, dan abu vulkanik. Material vulkanik yang dihasilkan kurang lebih 120 juta m<sup>3</sup>. Sebagian dari material vulkanik ini mengendap di sepanjang sungai-sungai yang dilalui dan sebagian lainnya

mengendap di lahan di luar alur sungai dan sisanya mengendap pada lahan di sekitar puncak dan lereng. Sedimen yang berasal dari lahar panas mengendap pada alur sungai-sungai yang berhulu di puncak G. Kelud. Material yang berasal dari piroklastik menyebar di sekitar puncak.

Pada musim penghujan, endapan material vulkanik yang mengendap di sekitar puncak, lereng dan alur sungai bercampur dengan air hujan, berubah menjadi aliran lahar dingin. Aliran lahar dapat berupa aliran debris atau aliran lumpur dengan gaya seret yang besar sehingga sedimen yang terangkut ke hilir volumenya besar dan kecepatannya tinggi. Pada kemiringan dasar sungai yang landai terjadi pengendapan di sepanjang alur sungai yang berhulu di G. Kelud dan sedimen yang bergradasi lebih halus terangkut sampai ke Waduk Wlingi dan mengendap di dasar waduk.

Sedimen yang mengendap di dasar Waduk Wlingi terutama berasal dari sungai-sungai lahar yang berhulu di G. Kelud. Sungai-sungai lahar dari G. Kelud yang mengalir ke Waduk Wlingi adalah K. Putih, K. Jari, K. Semut dan K. Lekso. Keempat sungai ini berkualita di K. Brantas di sebelah hulu Waduk Wlingi. Akibat dari aliran sedimen yang masuk K. Brantas maka terjadi sedimentasi waduk. Sedimen dari lereng G. Kelud memberikan kontribusi terbesar terhadap sedimentasi waduk.

Waduk Wlingi adalah salah satu waduk pada aliran sungai K. Brantas yang direncanakan mempunyai volume air pada muka air normal 24 juta m<sup>3</sup>, volume mati 18,8 juta m<sup>3</sup> dan volume efektif 5,20 juta m<sup>3</sup>. Waduk Wlingi mengalami sedimentasi yang cukup besar terutama setelah letusan G. Kelud 10 Februari 1990. Sedimentasi yang terjadi di Waduk Wlingi mengakibatkan volume air berkurang sehingga operasional waduk terganggu.

Salah satu cara untuk mengurangi laju sedimentasi waduk adalah dengan menerapkan teknologi sabo pada sungai-sungai lahar di daerah G. Kelud dengan membuat bangunan sabo seperti bendung penahan sedimen, bendung konsolidasi, bendung pengendali dasar sungai dan kantong lahar. Disamping itu untuk memelihara waduk pada volume air efektif agar ketersediaan air waduk untuk keperluan PLTA serta irigasi di Kab. Blitar dan Kab. Tulungagung cukup memadai, Perum Jasa Tirta I telah melakukan pengerukan sedimen dari dasar waduk secara periodik.

Mengingat volume efektif Waduk Wlingi relatif kecil dan air tidak hanya digunakan untuk PLTA yang dapat menghasilkan listrik 188 MWh/th, tetapi juga dimanfaatkan untuk mengairi sawah seluas 13.600 ha di Kabupaten Blitar dan Tulungagung, maka ketersediaan air waduk pada sekitar volume efektif harus dijaga.

Penelitian ini dilakukan pada sungai-sungai lahar di daerah G. Kelud khususnya pada DAS Waduk Wlingi yang berhulu di G. Kelud, alur K. Brantas di hulu Waduk Wlingi dan di lokasi genangan Waduk Wlingi. Penelitian meliputi penghitungan sedimen yang tertampung pada bangunan sabo seperti kantong lahar, bendung penahan sedimen, bendung pengendali dasar sungai, dan bendung konsolidasi, penghitungan kapasitas rencana dan kapasitas sisa tampungan sedimen serta mengetahui efektifitas pengendalian aliran lahar pada keempat sungai tersebut.

Penelitian bertujuan untuk mengkaji manfaat bangunan pengendali sedimen (sabo) pada sungai-sungai lahar di DAS Waduk Wlingi untuk mengendalikan sedimentasi waduk. Adapun sasarannya adalah diketahuinya efektifitas pengendalian aliran lahar dengan menerapkan teknologi sabo dalam rangka menurunkan laju sedimentasi Wd. Wlingi.

## METODOLOGI

Dalam pelaksanaan penelitian, metodologi yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Pengumpulan data sekunder dilakukan dengan metode telaahan terhadap laporan terdahulu dan studi pustaka serta referensi yang terkait dengan obyek penelitian.
- Pengumpulan data primer dilakukan dengan metode observasi lapangan dan wawancara dengan nara sumber dan pejabat yang terkait dengan pengelolaan sungai dan bangunan sabo. Kegiatan penyelidikan dan survei di lapangan dilakukan dengan metode observasi, pengukuran dan wawancara dengan berbagai pihak terkait. Observasi dilakukan dengan metode pengamatan lapangan terhadap kondisi alur sungai dan bangunan sabo yang ada, dengan menggunakan peralatan a.l. kamera dan alat ukur. Pengukuran dilakukan dengan metode pengukuran alur sungai, volume deposit material yang terakumulasi pada bangunan sabo dan kondisi bangunan sabo.
- Diskusi dan konsultasi teknis dilakukan dengan nara sumber dan para pejabat terkait, pengelola sungai dan bangunan sabo serta pengelola waduk yang menjadi obyek penelitian.
- Melakukan interpretasi dan analisis terhadap data yang berasal dari hasil studi pustaka, data sekunder, data primer dari hasil survei dan pengukuran di lapangan untuk menghasilkan informasi yang lengkap.
- Merumuskan kesimpulan, mengajukan saran serta menyusun laporan.

## TINJAUAN PUSTAKA

### 1 Sedimentasi Waduk

Waduk mengalami sedimentasi diakibatkan oleh partikel sedimen yang terangkut oleh aliran air pada sungai-sungai yang menuju ke waduk mengendap di dasar waduk. Pengendapan sedimen terjadi mulai dari genangan waduk di bagian hulu sampai dekat dengan badan bendungan di sekitar *intake*. Sedimen dengan gradasi kasar mengendap di bagian hulu dan sedimen yang bergradasi lebih halus mengendap di bagian yang lebih ke hilir dalam genangan waduk (Morris, GL, et al., 2000).

Angkutan muatan dasar terjadi bila ada air yang mengalir dengan kecepatan tertentu. Angkutan muatan dasar dapat berupa gerakan partikel sedimen yang mengguling, menggeser atau melompat. Angkutan muatan tersuspensi terjadi di atas dasar sungai sampai permukaan aliran dalam bentuk suspensi. Bila gaya geser aliran lebih besar dari gaya geser kritis maka partikel sedimen akan terangkut dalam bentuk angkutan muatan dasar atau angkutan muatan tersuspensi. Bila gaya geser aliran lebih kecil dari gaya geser kritis maka muatan dasar akan mengendap dan muatan tersuspensi akan terus terangkut sampai ke tempat di mana air berhenti mengalir di dekat badan bendungan. Di tempat air berhenti mengalir, sedimen tersuspensi akan mulai mengendap (Morris, GL, et al., 2000).

Berdasarkan teori tersebut di atas, sedimen yang mengendap di genangan waduk bervariasi mulai dari yang bergradasi kasar sampai yang bergradasi halus mulai dari hulu ke hilir genangan waduk. Diameter butiran sedimen yang mengendap makin ke hilir makin halus dan sebaliknya diameter sedimen yang mengendap

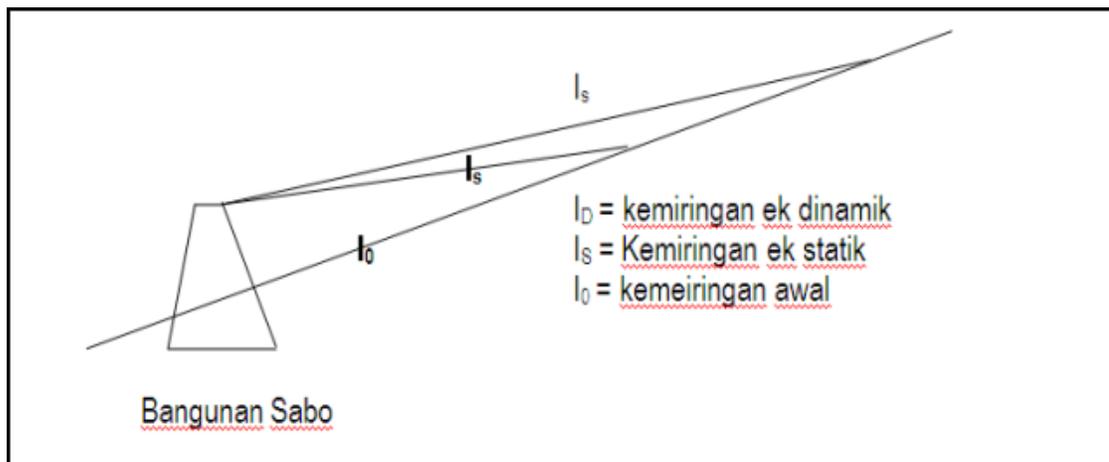
makin ke hulu makin kasar (Morris, GL, et al., 2000).

Salah satu cara untuk mengurangi endapan sediment di dasar waduk adalah dengan pengerukan. Pekerjaan pengerukan ini perlu dilakukan secara berkala apabila usaha untuk mengurangi laju sedimentasi waduk belum berhasil (White, R., 2001)

### 2 Pengendalian Aliran Lahar

Pengendalian aliran lahar dilakukan dengan membuat bangunan sabo a.l. bendung penahan sedimen, bendung pengendali dasar sungai atau bendung konsolidasi dan kantong lahar (Agus, S. 2002). Pada prinsipnya bangunan sabo berfungsi untuk menahan sebagian dari aliran sedimen/lahar di hulu bangunan, mengalirkan sebagian sedimen ke hilir bangunan, mengendalikan kemiringan dasar sungai, menahan sedimen yang telah mengendap di dasar sungai sebelum bangunan sabo dibuat dan mencegah longoran tebing sungai yang diakibatkan penggerowongan kaki tebing (Mizuyama, 2008).

Setelah dibuat bangunan sabo, akan terjadi pengendapan sedimen di hulu bangunan. Pengendapan sedimen akan berlanjut sampai endapan sedimen mencapai mercu bangunan dan membentuk kemiringan dasar sungai di hulu bangunan (Takahashi, T., 2007). Pada saat kemiringan dasar sungai mencapai kemiringan ekilibrium statik ( $I_s$ ), endapan sedimen disebut tumpukan mati (*dead storage*). Bila endapan sedimen bertambah terus akan terbentuk kemiringan ekilibrium dinamik ( $I_D$ ); maka endapan sedimen yang terakumulasi antara kemiringan ekilibrium statik dan kemiringan ekilibrium dinamik disebut volume terkendali (*control volume*). Lihat Gambar 1.



Gambar 1 Sketsa perubahan kemiringan dasar sungai di hulu Bangunan Sabo



**Gambar 2** Lokasi Penelitian pada sungai-sungai di lereng selatan G. Kelud

Bila aliran air dari hulu dapat mengangkut sedimen, maka sedimen yang telah mengendap di dasar sungai akan dapat tergerus dan terangkut ke hilir bangunan sabo, sampai tercapai kemiringan ekilibrium statik ( $I_s$ ). Kemiringan ekilibrium statik ini tidak akan bertambah kecil dan sedimen di dasar sungai tidak tergerus, meskipun aliran tidak mengangkut sedimen (Mizuyama, 2008).

Bangunan sabo selain berfungsi untuk mengendalikan aliran debris, banjir bandang dan aliran sedimen berlebih, tetapi juga berfungsi untuk konservasi sumberdaya air, melestarikan lingkungan sungai dan kawasan disekitar sungai terutama di bagian hulu serta puncak dan lereng pegunungan. (Sumaryono, A., 2002).

Pengendalian aliran lahar dengan bangunan sabo pada sungai-sungai yang merupakan sub DAS waduk dilakukan dengan tujuan untuk mengurangi laju sedimentasi waduk (Sumaryono, A., dkk., 2004), (Sumaryono, A., dkk., 2008). Penerapan teknologi sabo dilakukan dengan membuat bangunan sabo secara seri di sepanjang alur sungai lahar di wilayah gunungapi a.l di Wilayah G. Kelud (Ditjen SDA, 2005), (Soewarno, dkk., 2005).

### 3 Bangunan Sabo

Pada umumnya bangunan sabo dapat dibedakan menjadi dua tipe yaitu tipe tertutup dan tipe terbuka. Bangunan sabo tipe tertutup merupakan bangunan sabo yang pertama kali diaplikasikan untuk pengendalian aliran debris. Sedang bangunan sabo tipe terbuka merupakan pengembangan dari tipe tertutup dengan diberi celah pada bendung utama dan ada pula yang

melengkapi dengan kisi-kisi baja atau uveri plat beton pada mercunya sehingga dapat berfungsi untuk penyeberangan. (Mizuyama, 2008)

Bangunan sabo tipe tertutup atau tipe konvensional adalah bangunan sabo dimana bendung utama tidak terdapat celah untuk mengalirkan sebagian sedimen ke hilir bangunan. Dengan demikian endapan sedimen/tampungan mati sedimen di hulu bangunan volumenya tetap, sedang volume sedimen terkendali akan berubah sesuai dengan kondisi aliran. Bila aliran dengan debit tinggi mengangkut sedimen dalam jumlah besar maka sebagian sedimen akan mengendap di hulu bangunan sehingga volume endapan sedimen bertambah, Sebaliknya bila aliran dengan debit rendah yang mengangkut sedimen dalam jumlah kecil maka sebagian kecil sedimen yang sudah mengendap di hulu bangunan akan tergerus dan terangkut ke hilir bangunan sehingga volume endapan sedimen akan berkurang.

Bangunan sabo tipe terbuka adalah bangunan sabo yang dilengkapi dengan celah pada bendung utama dengan tujuan agar sebagian sedimen yang mengendap di hulu bangunan pada waktu banjir dapat terangkut aliran pada banjir berikutnya menuju ke hilir melalui celah. Volume endapan sedimen di hulu bangunan yang dapat terangkut aliran banjir ke hilir bangunan pada tipe terbuka jauh lebih banyak dibandingkan volume sedimen yang terangkut ke hilir pada bangunan sabo tipe tertutup. Dalam perkembangannya, bangunan sabo tipe celah dapat dilengkapi dengan kisi-kisi baja untuk menahan sedimen dengan diameter besar dan sedimen dengan diameter lebih

kecil terangkut ke hilir bangunan. Ada pula bangunan sabo dengan celah berupa gorong-gorong agar sedimen dapat mengalir melalui gorong-gorong dan bagian atas mercu dapat dimanfaatkan untuk penyeberangan (sebagai jembatan). (Sumaryono, A., dkk., 2010).

Bangunan sabo berfungsi untuk menahan/ menampung sedimen yang terangkut aliran dari hulu bangunan, mengendalikan sedimen yang terangkut ke hilir bangunan, menahan sedimen yang telah mengendap di dasar sungai pada lokasi bangunan dan mencegah erosi atau longsoran tebing di hulu bangunan serta mengendalikan kemiringan dasar sungai agar tidak terjadi fluktuasi dasar sungai yang besar. Berdasarkan fungsi tersebut, bangunan sabo telah dimanfaatkan antara lain untuk mengamankan bangunan sungai lain di hulunya dan untuk mengendalikan sedimentasi waduk.

#### **4 Efektivitas Bangunan Sabo untuk Pengendalian Sedimen**

Sampai saat ini bangunan sabo yang telah dibuat telah cukup banyak dan jumlahnya mencapai ratusan, tersebar di sungai-sungai lahar dan sungai-sungai toren di beberapa provinsi. (Legowo, D., dkk., 2006) Sebagian bangunan sabo telah berfungsi dengan baik, aman dan stabil serta memenuhi manfaat yang direncanakan. Namun demikian belum semua bangunan sabo memenuhi fungsi dan manfaat yang telah direncanakan. Volume sedimen yang dikendalikan belum sesuai dengan yang direncanakan dan beberapa bangunan sabo mengalami kerusakan bahkan ada yang hancur. (Sumaryono, A., dkk., 2007).

Pada prinsipnya pengendalian sedimen dengan bangunan sabo adalah menahan sebagian sedimen di bagian hulu sungai (daerah produksi), mengendalikan fluktuasi dasar sungai di bagian tengah (daerah transportasi) dan menahan sedimen di bagian hilir (daerah deposisi) dan mengalirkan sisa sedimen ke hilir (sungai utama atau laut) (Takahashi, 2007).

Efektifitas bangunan sabo dapat dilihat dari beberapa aspek antara lain apakah volume tampungan mati (*dead storage*) dan volume sedimen terkendali (*control volume*) pada masing-masing bangunan sabo telah sesuai dengan rencana, apakah bangunan sabo tidak mengalami kerusakan akibat banjir debris, dan apakah fluktuasi dasar sungai dapat terkendali sesuai dengan rencana.

## **HASIL KEGIATAN DAN PEMBAHASAN**

### **1 Sedimentasi Waduk Wlingi**

Waduk Wlingi adalah salah satu waduk pada aliran S. Brantas terletak di Kab. Blitar, dibangun tahun 1975 - 1977, dimanfaatkan untuk penyediaan air irigasi dan PLTA. Pada saat ini volume efektif air waduk 3,348 juta m<sup>3</sup> atau 64% dari volume efektif rencana sebesar 5,2 juta m<sup>3</sup> sehingga debit air untuk irigasi berkurang dan daya listrik yang dihasilkan lebih kecil dari yang direncanakan.

Laju sedimentasi waduk Wlingi bertambah cepat setelah terjadi letusan G. Kelud tanggal 10 Februari 1990. Hal ini disebabkan material vulkanik yang mengendap pada sungai-sungai di DAS Waduk Wlingi yang berhulu di G. Kelud terangkut oleh aliran air pada sungai-sungai Putih, Jari, Semut dan Lekso menuju ke waduk dan akhirnya mengendap di dasar waduk.

Dalam periode 19 tahun dari 1979 sampai 1998, volume air waduk menurun drastis dari volume total rencana sebesar 24 juta m<sup>3</sup> pada tahun 1979, menjadi 4,454 juta m<sup>3</sup> pada tahun 1998. Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi penurunan volume waduk sebesar 81,5% dari volume total rencana selama kurun waktu 19 tahun setelah waduk beroperasi.

Penurunan volume waduk Wlingi yang sedemikian besar telah mengganggu operasional waduk baik untuk irigasi maupun untuk PLTA. Untuk itu maka perlu dilakukan tindakan-tindakan untuk mengatasi hal tersebut antara lain dengan penjadwalan operasional waduk, pengerukan sedimen dari dasar waduk dan mengendalikan angkutan sedimen yang masuk ke waduk terutama dari lereng G. Kelud.

Sejak tahun 1998 telah dilakukan tindakan untuk menurunkan laju sedimentasi waduk dengan melakukan pengurukan sedimen dari dasar waduk secara periodik setiap tahun. Selain itu pekerjaan penanggulangan dengan membuat bangunan sabo di sepanjang sungai-sungai yang berhulu di G. Kelud dalam DAS Waduk Wlingi telah dilaksanakan dengan intensif. Sejak saat itu, volumen air waduk relatif stabil sampai tahun 2006. Lihat Tabel 1.

Angkutan sedimen yang masuk ke Waduk Wlingi tidak hanya berasal dari lereng G. Kelud, tetapi juga berasal dari Kali Brantas di hulu waduk. Namun demikian, volume sedimen yang berasal dari Kali Brantas di hulu Waduk Wlingi tidak terlalu besar, karena di hulu Waduk Wlingi terdapat Waduk Sutami yang secara tidak langsung berfungsi sebagai penangkap sedimen, sehingga angkutan sedimen yang masuk ke Waduk Wlingi sangat kecil. Sumber sedimen lain berasal dari anak-anak sungai kecil antara Waduk Sutami dan Waduk Wlingi yang volumenya relatif kecil.



**Gambar 3** Genangan Waduk Wlingi dilihat dari kanan waduk (difoto oleh Agus Sumaryono)



**Gambar 4** Alur sungai K. Brantas di hilir pelimpah bendungan (difoto oleh Agus Sumaryono)

**Tabel 1** Volume Sedimentasi Waduk Wlingi

Tahun	WADUK WLINGI					
	Volume Waduk		Volume Sedimentasi Per Tahun			
			WADUK	DIKERUK	TOTAL	KUMULATIF
		( 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )				
1979	*)	24,000	0	0	0	0
1998	**)	4,454	0	0	0	0
1999		4,018	0,436	0	0,436	0,436
2000		3,582	0,436	0	0,436	0,872
2001	**)	3,145	0,436	0	0,436	1,308
2006	**)	3,348		-0,203	-0,203	1,105

Sumber: Perum Jasa Tirta I

Catatan: \*) Volume awal

\*\* )Volume setelah pengerukan/sounding waduk

**Tabel 2** Kapasitas tampungan sedimen rencana pada bangunan sabo di K. Putih K. Jari, K. Semut dan K. Lekso

No	Nama Sungai	Kantong Lahar		BPS		Dam Konsolidasi		Volume
		Jumlah	Volume	Jumlah	Volume	Jumlah	Volume	Total
		(unit)	(m <sup>3</sup> )	(unit)	(m <sup>3</sup> )	(unit)	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )
1	K. Putih	2	9.900.000	4	7.150.000	9	10.509.400	27.559.400
2	K. Jari	-	-	2	2.548.864	1	62.500	2.611.364
3	K. Semut	1	4.534.000	2	1.571.236	9	5.403.225	11.508.461
4	K. Lekso	-	-	1	260.420	4	1.215.000	1.475.420
<b>Jumlah</b>		<b>3</b>	<b>14.434.000</b>	<b>9</b>	<b>11.530.520</b>	<b>23</b>	<b>17.190.125</b>	<b>43.154.645</b>

Ket.: BPS : Bendung penahan sedimen

Sumber : Balai Besar Wilayah Sungai Brantas

**Tabel 3** Volume sedimen tertampung pada bangunan sabo di K. Putih, K. Jari, K. Semut dan K. Lekso (hasil pengukuran tahun 2008)

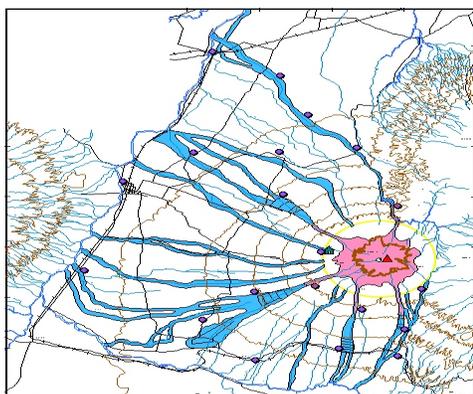
No	Nama Sungai	Kantong Lahar		BPS		Dam Konsolidasi		Volume
		Jumlah	Volume	Jumlah	Volume	Jumlah	Volume	Total
		(unit)	(m <sup>3</sup> )	(unit)	(m <sup>3</sup> )	(unit)	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )
1	K.Putih	2	7.100.000	4	4.150.560	9	7.720.074	18.970.634
2	K. Jari	-	-	2	1.784.205	1	43.750	1.827.955
3	K. Semut	1	2.982.000	2	1.099.865	9	3.570.258	7.652.123
4	K. Lekso	-	-	1	260.420	4	400.000	660.420
	<b>Jumlah</b>	<b>3</b>	<b>10.082.000</b>	<b>9</b>	<b>7.295.050</b>	<b>23</b>	<b>11.734.082</b>	<b>29.111.132</b>

Ket.: BPS : Bendung penahan sedimen

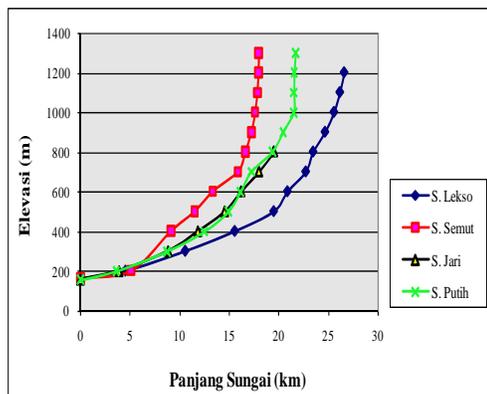
**Tabel 4** Sisa kapasitas tampungan pada bangunan sabo di K. Putih, K. Jari, K. Semut dan K. Lekso (hasil pengukuran tahun 2008)

No	Nama Sungai	Kantong Lahar		BPS		Dam Konsolidasi		Volume
		Jumlah	Volume	Jumlah	Volume	Jumlah	Volume	Total
		(unit)	(m <sup>3</sup> )	(unit)	(m <sup>3</sup> )	(unit)	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )
1	K.Putih	2	2.800.000	4	2.999.940	9	2.789.326	8.688.766
2	K. Jari	-	-	2	764.659	1	18.750	783.409
3	K. Semut	1	1.552.000	2	471.371	9	1.832.967	3.856.338
4	K. Lekso	-	-	1	0	4	815.000	815.000
	<b>Jumlah</b>	<b>3</b>	<b>4.352.000</b>	<b>9</b>	<b>4.235.070</b>	<b>23</b>	<b>5.456.043</b>	<b>14.043.513</b>

Ket.: BPS : Bendung penahan sedimen



**Gambar 5** Sungai-sungai lahar yang berhulu di G. Kelud



**Gambar 6** Penampang memanjang sungai-sungai lahar pada DAS Wd. Wlingi

Untuk mengatasi akibat berkurangnya volume efektif waduk dilakukan pengurangan jam operasi PLTA terutama pada musim kemarau dan pengurangan luas areal sawah yang diairi dengan cara giliran. Sedang untuk mengatasi penurunan volume efektif waduk dilakukan pekerjaan pengerukan sedimen yang mengendap di dasar waduk secara rutin di sepanjang tahun terutama di musim penghujan.

Agar operasi waduk tidak terganggu, pengerukan sedimen dari dasar waduk dilakukan dengan mengoperasikan kapal keruk pada musim penghujan. Volume sedimen yang dapat dikeruk dari dasar waduk antara 200.000 m<sup>3</sup> sampai 400.000 m<sup>3</sup> setiap tahun.

Untuk mengurangi sedimen yang terangkut aliran air dari anak-anak sungai yang berhulu di G. Kelud diterapkan teknologi sabo dengan membuat bangunan-bangunan sabo seperti kantong lahar,

bendung penahan sedimen, bendung pengendali dasar sungai, bendung konsolidasi, tanggul pengaman dll. Pembuatan bangunan sabo dilakukan di sungai-sungai K. Putih, K. Jari, K. Semut dan K. Lekso. Selain itu telah dibuat saluran pengelak (*diversion channel*) untuk membelokkan aliran sungai dari K. Putih menuju ke hilir Waduk Wlingi.

## 2 Pengendalian Sedimen di Kali Putih

K. Putih mengalir ke arah selatan dan akhirnya berkuala pada genangan Wd Wlingi. Bangunan sabo yang telah dibuat pada aliran K. Putih a.l. kantong lahar 2 unit dengan kapasitas tampungan 9.900.000 m<sup>3</sup>, bendung penahan sedimen sebanyak 4 unit dengan kapasitas tampungan 7.150.606 m<sup>3</sup> dan bendung pengendali dasar sungai, bendung konsolidasi dan *ground sill* sebanyak 9 unit dengan kapasitas tampungan 10.509.400 m<sup>3</sup>, sehingga jumlah kapasitas tampungan total 27.559.400 m<sup>3</sup>.

Dari kapasitas tampungan tersebut, belum semua bangunan sabo terisi penuh karena volume sedimen yang mengendap di bangunan sabo belum mencapai volume kapasitas tampungan rencana. Sisa tampungan kantong lahar sebesar 2.800.000 m<sup>3</sup>, sisa tampungan bendung penahan sedimen

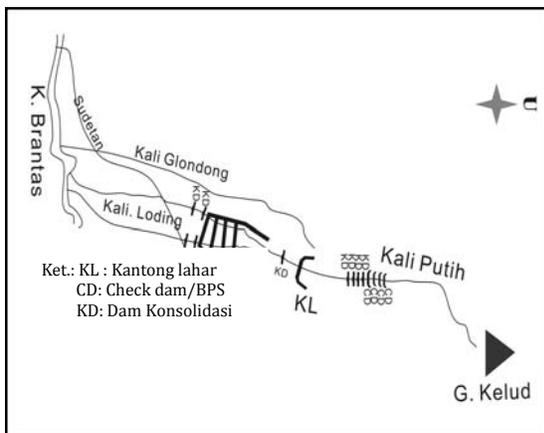
sebesar 2.999.940 m<sup>3</sup> dan sisa tampungan bendung pengendali dasar sungai sebesar 2.789.326 m<sup>3</sup>. Jadi sisa total tampungan sedimen pada bangunan sabo di K. Putih sebesar 8.605.866 m<sup>3</sup>.

Selain itu untuk mencegah sedimentasi waduk, telah dibangun saluran pengelak dari K. Putih ke K. Glondong yang berkuala di hilir waduk.

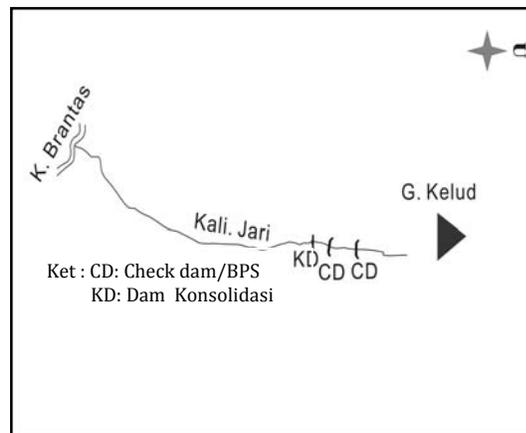
## 3 Pengendalian Sedimen di Kali Jari

Kali Jari mengalir ke selatan dan berkuala di hulu genangan Wd Wlingi. Pada alur sungai K. Jari terdapat bendung penahan sedimen 2 unit dengan kapasitas 2.548.864 m<sup>3</sup> dan bendung konsolidasi 1 unit dengan kapasitas 62.000 m<sup>3</sup>. Kapasitas tampungan total 2.610.864 m<sup>3</sup>. Salah satu dari bendung penahan sedimen difungsikan untuk pengambilan air PLTM (Pusat Listrik Tenaga Mikrohidro). Dari kapasitas tampungan tersebut, belum semua bangunan sabo terisi penuh karena sedimen yang mengendap di bangunan sabo belum mencapai volume kapasitas tampungan rencana.

Sisa tampungan bendung penahan sedimen sebesar 764.659 m<sup>3</sup> dan sisa tampungan bendung pengendali dasar sungai sebesar 18.750 m<sup>3</sup>. Jadi sisa tampungan sedimen total pada bangunan sabo di K. Jari sebesar 783.409 m<sup>3</sup>.



**Gambar 7** Sketsa situasi K.Putih dan bangunan sabo yang telah dibangun



**Gambar 8** Sketsa situasi K. Jari dan bangunan sabo yang telah dibangun



**Gambar 9** Bendung Penahan Sedimen K. Jari  
(difoto oleh Agus Sumaryono)



**Gambar 10** Bendung Penahan Sedimen K. Jari  
(difoto oleh Agus Sumaryono)

#### 4 Pengendalian Sedimen di K. Semut

K. Semut mengalir ke arah selatan, masuk ke K. Lekso dan akhirnya berkuala di bagian hulu Waduk Wlingi di K.Brantas. Bangunan sabo yang telah dibuat pada aliran K. Semut a.l. kantong lahar 1 unit dengan kapasitas tampungan  $4.534.000 \text{ m}^3$ , bendung penahan sedimen sebanyak 2 unit dengan kapasitas tampungan  $1.571.236 \text{ m}^3$  dan bendung pengendali dasar sungai, bendung konsolidasi dan *groundsill* sebanyak 9 unit dengan kapasitas tampungan  $5.403.225 \text{ m}^3$ , sehingga jumlah kapasitas tampungan total  $11.508.461 \text{ m}^3$ .

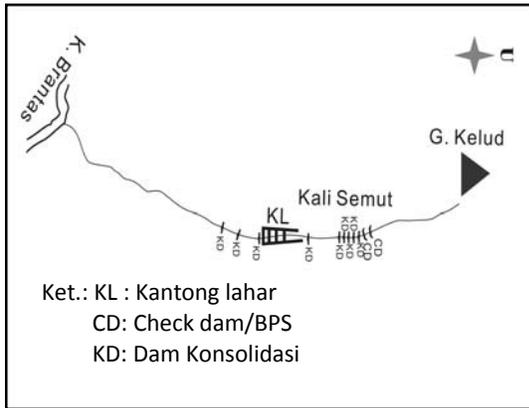
Dari kapasitas tampungan tersebut, belum semua bangunan sabo terisi penuh karena volume sedimen yang mengendap di bangunan sabo belum mencapai volume kapasitas tampungan rencana. Sisa tampungan kantong lahar sebesar  $1.552.000 \text{ m}^3$ , sisa tampungan bendung penahan sedimen sebesar  $471.371 \text{ m}^3$  dan sisa tampungan bendung pengendali dasar sungai dan bendung konsolidasi sebesar  $1.832.967 \text{ m}^3$ . Jadi sisa tampungan sedimen total pada bangunan sabo di K. Semut sebesar  $3.856.338 \text{ m}^3$ .



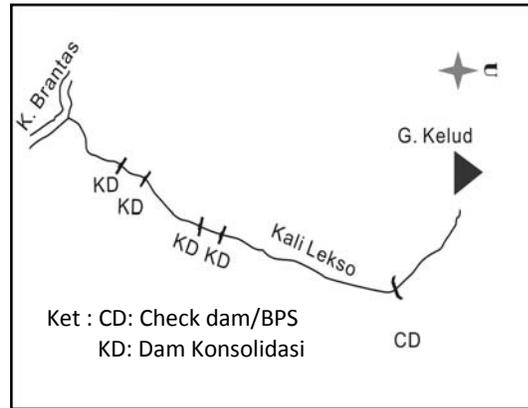
**Gambar 11** Pelimpah Kantong Lahar di K. Semut  
(difoto oleh Agus Sumaryono)



**Gambar 12** Bendung Penahan Sedimen di K.Semut



**Gambar 13** Sketsa Situasi K.Semut dan bangunan sabo yang telah dibangun



**Gambar 14** Sketsa Situasi K.Lekso dan bangunan sabo yang telah dibangun

### 5 Pengendalian Sedimen di K. Lekso

DAS K. Lekso meliputi dua lereng gunung yaitu lereng tenggara G. Kelud dan lereng timur G. Kawi. G. Kelud merupakan gunungapi aktif dan G. Kawi saat ini tidak menunjukkan kegiatan. Sedimen yang terangkut dari G. Kelud merupakan material vulkanik muda hasil letusan tahun 1990 dan sebelumnya, Sedangkan sedimen yang terangkut dari lereng G. Kawi berasal dari erosi lahan, dimana sedimen berupa material vulkanik tua.

K. Lekso mengalir ke selatan dan berkuala di hulu genangan Wd Wlingi. Pada alur sungai K. Lekso terdapat bendung penahan sedimen 1 unit

dengan kapasitas 260.420 m<sup>3</sup> dan bendung konsolidasi 4 unit dengan kapasitas 1.215.000 m<sup>3</sup>. Di K. Lekso tidak terdapat bangunan kantong lahar.

Kapasitas tampungan total 1.475,420 m<sup>3</sup>. Selain itu, saat ini sedang dibangun 5 buah bendung penahan sedimen di bagian hulu K. Lekso. Dari kapasitas tampungan tersebut, belum semua bangunan sabo terisi penuh, karena sedimen yang mengendap di bangunan sabo belum mencapai volume kapasitas tampungan rencana. Sisa tampungan bendung pangendali dasar sungai sebesar 815.000 m<sup>3</sup>. Jadi sisa tampungan sedimen total pada bangunan sabo di K. Semut sebesar 815.000 m<sup>3</sup>.



**Gambar 15** Dam Konsolid LE CD9 di K.Lekso (difoto oleh Agus Sumaryono)



**Gambar 16** Bendung Penahan Sedimen LE CD8 di K.Lekso (difoto oleh Agus Sumaryono)

## 6 Efektifitas Pengendalian Sedimen

Kapasitas tampungan sedimen pada kantong lahar pada alur sungai K.Putih dan K.Semut masing-masing 9.900.000 m<sup>3</sup> dan 4.534.000 m<sup>3</sup>. Sedimen yang telah tertampung dalam masing-masing kantong lahar 7.100.000 m<sup>3</sup> dan 2.982.000 m<sup>3</sup> jadi sisa tampungan masing-masing 2.800.000 m<sup>3</sup> dan 1.552.000 m<sup>3</sup>. Sehingga sisa tampungan kantong lahar seluruhnya 4.352.000 m<sup>3</sup>. Kapasitas tampungan bendung penahan sedimen di K.Putih, K.Jari, K.Semut dan K.Lekso sebesar 11.530.520 m<sup>3</sup>, sedimen yang telah tertampung 7.295.050 m<sup>3</sup>, jadi sisa tampungan 4.235.470 m<sup>3</sup>. Kapasitas tampungan bendung pengendali dasar sungai, bendung konsolidasi dan *ground sill* di K.Putih, K.Jari, K.Semut dan K.Lekso sebesar 17.190.125 m<sup>3</sup>, sedimen yang telah tertampung 11.734.082 m<sup>3</sup>, jadi sisa tampungan 5.456.043 m<sup>3</sup>.

Dari hasil perhitungan, ternyata volume sedimen total yang telah tertampung 29.111.132 m<sup>3</sup> dan sisa tampungan sedimen pada bangunan sabo di keempat sungai tersebut adalah 14.043.513 m<sup>3</sup> dari kapasitas tampungan rencana sebesar 43.154.645 m<sup>3</sup>. Sisa volume tampungan sebesar lebih dari 14 juta m<sup>3</sup> ini akan bermanfaat untuk menampung sedimen bila terjadi banjir lahar yang akan datang setelah terjadi letusan besar G. Kelud di masa mendatang.

Berdasarkan data hasil perhitungan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa bangunan-bangunan sabo yang telah dibuat di K.Putih, K. Jari, K. Semut dan K. Lekso telah berfungsi sesuai dengan rencana dan kapasitas tampungan tersisa masih memadai dan angkutan sedimen yang masuk ke Waduk Wlingi dapat terkendali.

## KESIMPULAN

Bangunan-bangunan sabo yang telah dibuat di sungai-sungai K. Putih, K. Jari, K. Semut dan K. Lekso masih cukup efektif untuk menanggulangi sedimentasi Waduk Wlingi, karena sampai saat ini kapasitas tampungan yang tersisa masih cukup besar (14.043.513 m<sup>3</sup>).

Saluran pengelak dari K. Putih menuju ke K. Glondong dan akhirnya berkuala di hilir Waduk Wlingi, bermanfaat untuk mencegah angkutan sedimen dari K.Putih ke Waduk Wlingi.

Sedimen yang terangkut ke Waduk Wlingi berupa sedimen berasal dari angkutan muatan dasar dan angkutan muatan tersuspensi yang tidak dapat tertahan pada bangunan sabo, dan sebagian sedimen yang terangkut pada muatan dasar mengendap pada bangunan sabo yang ada.

Selain membuat bangunan sabo, untuk memelihara volume efektif Waduk Wlingi untuk irigasi dan PLTA, pengerukan sedimen dari dasar waduk yang dilakukan secara rutin terutama pada

musim penghujan ternyata cukup efektif untuk memelihara volume air Waduk Wlingi mendekati volume tampungan efektif.

Agar bangunan sabo dapat berfungsi secara efektif maka perlu dilakukan pemantauan dan pemeliharaan bangunan secara rutin, dan bila terjadi kerusakan agar segera diperbaiki, supaya kerusakan tidak bertambah parah.

Pemeruman waduk perlu dilakukan secara rutin, agar dapat diketahui perkembangan sedimentasi Waduk Wlingi untuk merencanakan program pengendalian.

Pemakaian air waduk untuk keperluan irigasi dan PLTA hendaknya diatur secara efisien.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis mengucapkan terima kasih kepada pimpinan dan staf instansi terkait a.l. Balai Besar Wilayah Sungai Brantas, Perum Jasa Tirta I dan Pemerintah Kabupaten Blitar yang telah membantu kegiatan lapangan untuk mendapatkan data dan informasi yang diperlukan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ditjen SDA, 2005, *Laporan Inventarisasi Bangunan Sabo di Daerah Gunung Kelud*, Bagian Proyek Pengendalian Banjir Lahar G. Kelud, Ditjen Sumber Daya Air, Kediri.
- Legowo, D., Suparman, Subarkah, 2006, *Sejarah Sabo di Indonesia*, Yayasan Air Adhi Eka, Jakarta
- Mizuyama, T, 2008, *Structural Countermeasure for Debris Flow Disaster*, International Journal of Erosion Control Engineering, Vol. 1, No. 2, 2008 p. 38 – 43, ISSN: 1882-6547, Kyoto, Japan.
- Morris, GL, and Fan, J., 2000, *Reservoir Sedimentation Handbook, Design and Management of Dams, Reservoir and Watershed Use*, Mc Growhill, New York.
- Soewarno, Sumaryono, A., 2006, *Rekayasa Teknik Hidraulik dan Hidrologi untuk Mempertahankan Kapasitas Tampungan Waduk Wlingi*, Prosiding Seminar Nasional Limnologi 2006, Jakarta 5 September 2006, ISBN 979-3688.63.7.
- Sumaryono, A., 2002, *Pengaruh Pengendalian Bencana Sedimen terhadap Kelestarian Sumber Daya Air*, Prosiding Simposium Nasional Mitigasi Bencana Sedimen, diselenggarakan oleh Direktorat Jenderal Sumber Daya Air dan JICA, Yogyakarta, 12 – 13 Maret 2002, ISBN 979-8763-04-1.
- Sumaryono, A., Sukatja, B., dan Andamari, O., 2004, *The Application of Sabo Technology to Decrease Reservoir Sedimentation*,

- Proceeding of International Conference on Sediment Related Disaster Management, Yogyakarta, August 3-5, 2004, ISBN 979-8763-04-1.
- Sumaryono, A., Musthofa, A., dan Yunita, T., 2008, *Laporan Akhir Penelitian Pengembangan Jaringan Informasi dan Pembuatan Peta Rawan Longsor yang Berpotensi Mengakibatkan Sedimentasi Waduk (Tahun II)*, Pusat Litbang Sumber Daya Air, Bandung.
- Sumaryono, A., Puspitosari, D.A., 2010, *Perkembangan Teknologi Sabo di Indonesia*, Prosiding Seminar Perkembangan Iptek Teknosabo di Indonesia, Yogyakarta, 28-29 September 2010, ISBN 978-979-8763-11-3.
- Takahashi, T., 2007. *Debris Flow, Mechanics, Prediction and Countermeasures*, Routledge Taylor & Francis Group, London, UK.
- White, R., 2001, *Evacuation of Sediment from Reservoirs*, HR Willingford, London, UK