

# KINERJA DAM SABO K. LUMAJANG UNTUK PENGENDALIAN SEDIMENTASI WADUK MRICA

Soewarno<sup>1</sup>, C. Bambang Sukatja<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Peneliti Bidang Hidrologi, <sup>2</sup>Peneliti Bidang Geografi Fisik  
Pusat Litbang Sumber Daya Air, Sopalan, Maguwoharjo, Depok, Sleman, Yogyakarta, 55282  
E-mail: soewarno\_hd@yahoo.com

Diterima: 9 Desember 2009; Disetujui: 18 Maret 2010

## ABSTRAK

Salah satu permasalahan pokok operasional Waduk Pembangkit Listrik Tenaga Air Mrica adalah ancaman pendangkalan waduk, akibat laju sedimentasi yang terlalu cepat yang menyebabkan umur layan waduk menjadi lebih singkat. Sumber sedimen DAS Waduk Mrica berasal dari DAS Serayu, Merawu dan Lumajang. Sebagai upaya pengurangan laju sedimentasi pada tahun 2007, telah dibuat dam sabo di Kali Lumajang – Desa Linggasari. Sebuah penelitian yang dilaksanakan tahun 2007-2009, yang bertujuan memberikan solusi mengendalikan angkutan sedimen sungai yang masuk ke waduk, dilakukan dengan cara mengevaluasi kinerja dam sabo Kali Lumajang – Desa Linggasari, yang mencakup fungsi, efektifitas serta stabilitas, dan manfaat. Penelitian dimulai pada pembangunan dam sabo tipe tertutup, pengumpulan data sekunder, pengukuran debit dan angkutan sedimen, pengukuran geometri sungai dan kapasitas dam sabo langsung di lapangan, uji laboratorium, dan dilanjutkan dengan analisa dan interpretasi data untuk mengambil kesimpulan. Dam sabo dibangun dengan tubuh bendung utama dibuat dari campuran batu kali dengan pasir dan batu kali dengan kapur dibungkus dengan selimut beton tanpa tulangan. Musim hujan 2007/2008, dam sabo K. Lumajang telah berfungsi menampung sedimen 1350 m<sup>3</sup> dan 2008/2009 sebesar 1390 m<sup>3</sup> melebihi kapasitas rencana 1009 m<sup>3</sup>. Contoh inovasi bangunan dam sabo K. Lumajang ini dapat digunakan sebagai acuan pembangunan dam sabo untuk mengendalikan laju sedimentasi waduk di lokasi lain.

**Kata kunci:** Sedimentasi waduk, inovasi bangunan dam sabo, fungsi dan efektifitas, stabilitas dan manfaat.

## ABSTRACT

One of the problems in the Mrica Hydropower plant operation is the threat of reservoir reduction capacity due to sedimentation increase shortening reservoir life time. Sources of sediment are the Serayu, Merawu and Lumajang catchments. In order to reduce sedimentation in the Mrica reservoir a Sabo dam was constructed in Kali Lumajang, Desa Linggasari in 2007. A study of the problem conducted in 2007-2009, aimed to provide an alternative of controlling river sediment load entering the Mrica reservoir and evaluate the performance of the Sabo dam in Kali Lumajang including its function, effectiveness, stability and benefit. The study included observation of the closed Sabo dam type, secondary data collection, direct field river discharge measurement and sediment sampling, river geometry measurement and Sabo dam capacity, laboratory test, analysis and data interpretation. The Sabo dam was built with main dam body made of a mixture of cement, stone and sand, or cement, stone, sand and lime wrapped in a blanket of non-reinforced concrete. The rainy season of 2007/2008 showed that the Sabo dam accommodated 1,350 m<sup>3</sup> of sediment and in 2008/2009 1,390 m<sup>3</sup>, exceeding the designed capacity of 1,009 m<sup>3</sup>. The Sabo dam in the Lumajang River can be used as reference of Sabo dam construction controlling reservoir sedimentation in other locations.

**Keywords:** Reservoir: sedimentation, Sabo dam building innovation, function and effectiveness, stability and benefit.

## PENDAHULUAN

Waduk Mrica di DAS Serayu mempunyai luas genangan 12 km<sup>2</sup> dengan kapasitas tampung 140 juta m<sup>3</sup>. Waduk yang berlokasi di Kab. Banjarnegara, Jawa Tengah ini merupakan salah satu waduk serbaguna yang berfungsi membangkitkan tenaga listrik sebesar 580 Gwh per tahun. Pembangkit tenaga listrik ini digunakan untuk pemenuhan kebutuhan tenaga listrik sistem interkoneksi Jawa Madura dan Bali (Jamali). Selain itu waduk ini juga berfungsi mensuplai irigasi ke daerah Banjarcayana dengan debit berkisar antara 9,0 - 11,0 m<sup>3</sup>/s. Waduk Mrica yang beroperasi sejak tahun 1988 ini mempunyai desain umur layan sekitar 50 tahun dan direncanakan berakhir sekitar tahun 2038 (Soewarno dan Syariman, 2008).

DAS Waduk Mrica dengan luas, 1022 km<sup>2</sup> atau kurang lebih 32 % dari luas seluruh DAS Serayu. DAS Waduk Mrica mencakup luas Sub. DAS Serayu Hulu 71,2 %, Merawu 28 % dan Lumajang 0,80 %. DAS Waduk Mrica umumnya mempunyai topografi perbukitan dengan lembah yang curam, dengan kemiringan berkisar antara 50 - 90 %, curah hujan berkisar antara 2500-4800 mm pertahun. Bentang alam termasuk fluvio vulkanik dengan material penyusunnya merupakan hasil aktivitas vulkanik dan pengendapan. Lembah palung sungainya pada umumnya curam dan berbentuk huruf V. Luas lahan kering mencapai lebih dari 60 %, sedangkan luas hutan kurang dari 15 %. Luas hutan itu akan semakin berkurang akibat perambahan hutan yang tidak terkendali yang digunakan sebagai pertanian lahan kering tanpa memperhatikan kaidah konservasi, terutama di bagian hulu DAS Merawu dan Serayu termasuk di dataran Tinggi Dieng. Dengan demikian kondisi ini dapat mempercepat laju erosi dan menambah cepat laju sedimentasi Waduk Mrica (Soewarno dan Syariman, 2008).

Salah satu permasalahan pokok dari operasional Waduk Mrica pada saat ini adalah ancaman pendangkalan waduk sehingga kapasitas tampungnya semakin berkurang. Kapasitas waduk berkurang rata - rata 4,20 juta m<sup>3</sup>/tahun, maka diproyeksikan pada tahun 2014 kapasitas waduk tinggal tersisa 20 %, dan tahun 2021, diperkirakan kapasitas terisi penuh endapan jika tidak segera dilakukan upaya pengurangan laju sedimentasi (Soewarno dan Syariman, 2008).

Indikasi pendangkalan dapat secara faktual di lapangan ditunjukkan oleh adanya enceng gondok yang umumnya tumbuh pada

tubuh air Waduk Mrica, tidak ada lagi keramba ikan, dermaga perahu tidak berfungsi. Apabila volume surut maka terlihat jelas adanya pulau pulau hasil sedimentasi di dalam waduk.

Menurut Pengelola Waduk Mrica (PT Indonesia Power UBP Mrica) akibat pendangkalan, telah berpengaruh terhadap operasional waduk, setidaknya setelah 16 tahun beroperasi terjadi laju pengurangan produksi listrik 18 %.

Berdasarkan kondisi tersebut, untuk mengurangi laju sedimentasi Waduk Mrica telah dibangun contoh dam sabo di K. Lumajang. Dam sabo K. Lumajang dibangun pada tahun 2007 oleh Balai Sabo, Pusat Litbang Sumber Daya Air, adalah merupakan salah satu contoh dam sabo berinovasi tipe tertutup yang difungsikan untuk mengurangi sedimentasi waduk. Oleh karena itu, maka perlu dievaluasi kinerjanya, yang mencakup fungsi dan efektifitasnya serta stabilitas dan manfaatnya.

Secara spesifik teknosabo adalah penerapan teknik mengendalikan massa debris, yang terdiri dari sedimen dan hasil rombakan lainnya dengan prinsip mengurangi, menghambat dan mencegah gerakan massa debris agar tidak membahayakan dan menimbulkan kerugian baik jiwa maupun harta benda (Pusat Litbang SDA, 2006).

Tujuan penelitian ini adalah menyampaikan salah satu solusi alternatif kepada semua pemangku kepentingan tentang bagaimana teknosabo, yang dalam hal ini berupa bangunan dam sabo, dapat diterapkan sebagai salah satu contoh sarana untuk mengendalikan angkutan sedimen sungai yang masuk ke suatu waduk. Caranya adalah dengan mengevaluasi kinerja dam sabo, yang mencakup fungsi dan efektifitasnya serta stabilitas dan manfaat dari dam sabo berinovasi tipe tertutup di K. Lumajang di dalam DAS Waduk Mrica.

Dam sabo dibangun terutama untuk mengendalikan angkutan sedimen dasar (*bed load*) yang bercampur dengan hasil rombakan berupa batu, kayu dan rombakan lainnya, yang berupa aliran debris atau aliran lahar.

Angkutan sedimen sungai yang masuk ke dalam suatu waduk terdiri dari angkutan sedimen dasar (*bed load*) dan sedimen suspensi (*suspended load*), oleh karena itu maka pada penelitian ini dapat dibuat hipotesis bahwa dam sabo dapat berfungsi mengendalikan sedimen suspensi, disamping yang utama adalah mengendalikan angkutan sedimen dasar.

## TINJAUAN PUSTAKA

### 1 Istilah Sabo

Kata sabo berasal dari bahasa Jepang, *sa* berarti pasir (*sand*), *bo* berarti pengendalian (*prevention*). Pekerjaan yang berkaitan dengan sabo awalnya dikembangkan di Jepang pada jaman Meiji tahun 1873, yang dimulai dengan terbitnya undang-undang sabo di daerah sungai Yodo, yang berisi larangan terhadap usaha penebangan pohon lindung dan larangan pembukaan lahan pertanian baru.

Pada tahun 1951, Dr. Lowdermilk, seorang ahli konservasi lahan dari USA sangat menghargai pekerjaan sabo di Jepang, dan menawarkan kepada dunia internasional untuk menggunakan istilah SABO, karena kecuali mengandung pengertian yang cukup luas tentang pengendalian erosi dan sedimentasi, istilah sabo dianggap cukup sederhana, singkat, jelas dan enak didengar (Anonim, 2006).

Di Indonesia tekno sabo diperkenalkan untuk pertama kalinya oleh seorang tenaga ahli Jepang Mr. Tomoaki Yokota pada tahun 1970, terutama untuk menangani masalah erosi dan sedimentasi di daerah vulkanik pada waktu itu (Anonim, 2006).

### 2 Mengurangi Laju Sedimentasi Waduk

Di Indonesia terdapat kurang lebih 117 waduk, di antaranya termasuk kategori waduk besar, yaitu waduk yang kapasitasnya lebih dari 100 juta m<sup>3</sup> (WMO, 2003), antara lain: Waduk Jatiluhur (2448 juta m<sup>3</sup>), Cirata (1971 juta m<sup>3</sup>), Saguling (881 juta m<sup>3</sup>), Wonogiri (560 juta m<sup>3</sup>), Kedungombo (723 juta m<sup>3</sup>), Mrica (140 juta m<sup>3</sup>). Sedangkan yang termasuk waduk kecil antara lain: Waduk Wlingi (24 juta m<sup>3</sup>), Sengguruh (21,50 juta m<sup>3</sup>), Sempor (52 juta m<sup>3</sup>).

Pembangunan waduk adalah merupakan salah satu cara konservasi air, sebagai salah satu upaya agar kita tidak kekurangan air pada musim kemarau dan tidak kebanjiran pada musim hujan. Isu utama saat ini adalah telah terjadi laju sedimentasi waduk cukup serius sehingga kapasitasnya semakin berkurang, sebagai akibat dari kerusakan DAS (Hafied A. Gany, A., 2006).

Terdapat tiga metode dasar untuk mengurangi laju sedimentasi waduk (WMO, 2003), yaitu mereduksi erosi DAS hulu waduk, menangkap sedimen sebelum memasuki waduk, memindahkan endapan sedimen dari dalam waduk dengan cara pengerukan dan penggelontoran serta pembilasan aliran yang

membawa sedimen untuk menurunkan volume sedimen yang mengendap.

#### 1) Waduk Wonogiri

Penyebab besarnya laju sedimentasi Waduk Wonogiri di DAS Bengawan Solo Hulu antara lain adalah: luasnya lahan kritis, pengolahan lahan yang kurang baik, jumlah penduduk meningkat yang menyebabkan bertambahnya angka kemiskinan, sehingga penduduk cenderung merusak lingkungan agar bisa bertahan hidup. Penggundulan hutan sampai puncak bukit, merupakan sumber erosi yang potensial. DAS Waduk Wonogiri hanya mempunyai luas hutan 14,53 % sedangkan tegal dan pekarangan mencakup 63,63 %.

Kondisi itu akan memicu terjadinya erosi lahan. Program Gerakan Nasional Rehabilitasi Lahan dan Hutan (GERHAN) dimulai tahun 2003 oleh pemerintah, swasta dan masyarakat bertujuan mengembalikan fungsi DAS, rehabilitasi hutan dan sumber – sumber alam serta mengurangi bencana banjir, longsoran tebing dan kekeringan.

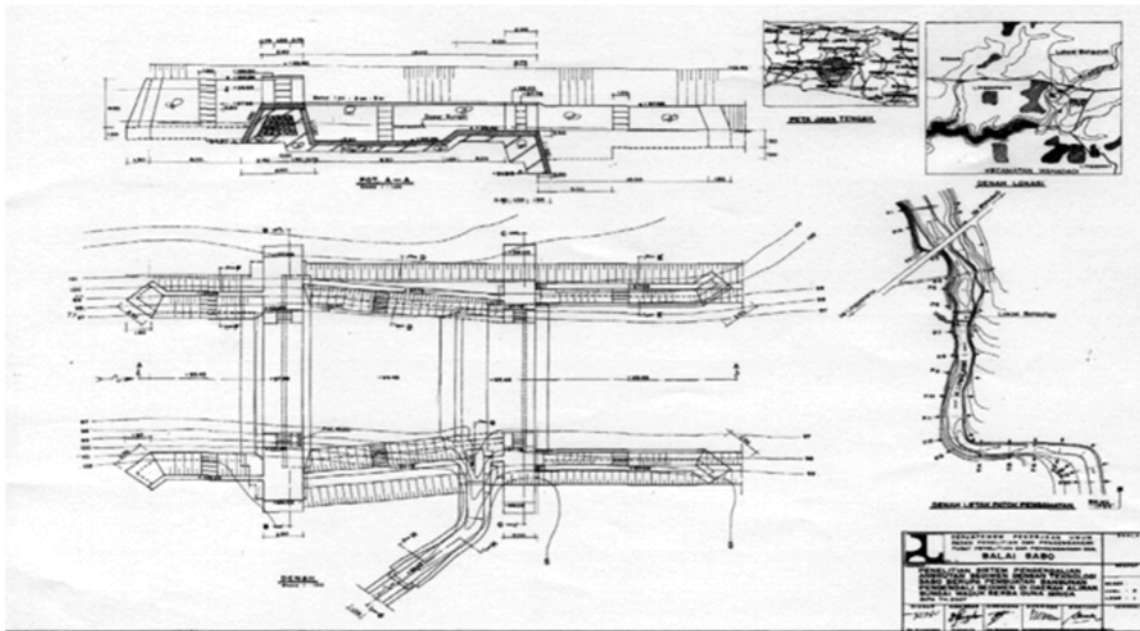
Bangunan pengendali parit (*gully plug*) umumnya dibangun di anak – anak sungai hulu DAS Waduk Wonogiri. Bangunan tersebut berfungsi untuk mengentikan aliran sedimen dari anak – anak sungai di daerah pengunungan. Bangunan dam sabo yang telah dibangun di sungai utama inflow Waduk Wonogiri sebanyak 4 (empat) lokasi, yaitu: 3 (tiga) di Kali Keduang dan 1 (satu) di Kali Tirtomoyo. Kapasitas ke empat dam sabo tersebut sekitar 400 ribu m<sup>3</sup>.

Dari pengamatan di lapangan ke empat dam sabo tersebut telah penuh endapan. Efektifitas dam sabo untuk mengendalikan laju sedimentasi sulit ditentukan karena tidak data hidrologi dan sedimen runtut waktu (Soewarno dan Sutikno, 2008).

#### 2) Waduk Sempor

Di Waduk Sempor dengan luas DAS 43 km<sup>2</sup>, telah dibangun tiga buah dam sabo. Dam sabo pertama dibangun Nopember 2000 dengan lebar bangunan 23,80 m, tinggi 6,37 m diperhitungkan 60.000 m<sup>3</sup> sedimen yang dapat tertangkap.

Dam sabo kedua dibangun di hulu bangunan pertama dengan lebar bangunan 30 m dan tinggi 7 m. Dam sabo ketiga dibangun Nopember 2004, dengan lebar bangunan 30,00 m dan tinggi 8,00 m. Dalam satu kali periode hujan, ketiga dam sabo tersebut telah dipenuhi oleh sedimen (Anonim, 2005).



**Gambar 1** Kondisi situasi lokasi dam sabo K. Lumaiang – Linggasari

### 3) Usulan Membangun Dam Sabo di DAS Waduk Mrica

Dari penelitian tahun 2007-2009, telah dapat dibuat sebuah Peta Jaringan Lokasi Rencana Dam Sabo DAS Waduk Mrica. Rencana bangunan dam sabo mencakup 47 lokasi yang tersebar di DAS Waduk Mrica.

Kapasitas tampung total dari lokasi rencana dam sabo tersebut = 10 juta m<sup>3</sup>, dengan rincian dam sabo di DAS Merawu mampu menampung sedimen sebesar 72,14 %, Serayu Hulu 9,41 %, sisanya di sungai – sungai kecil lainnya termasuk di Kali Lumajang. Di DAS Merawu menempati urutan pertama dalam jumlah dan kapasitas dam sabo karena berkontribusi 56 % dari total volume sedimen yang masuk ke Waduk Mrica.

Oleh karena itu pembangunan dam sabo harus diprioritaskan di Sub. DAS Merawu. Apabila 47 lokasi dam sabo tersebut dibangun, disertai penambangan galian C sebesar 1,30 juta m<sup>3</sup>/tahun maka umur layan waduk Mrica akan berakhir sampai dengan tahun 2031, atau umur layan waduk dapat bertambah 10 tahun, dari proyeksi saat ini bahwa tahun 2021 sudah akan penuh endapan (Soewarno dan Bambang Sukatja, 2010).

Dari 47 lokasi dam sabo yang diusulkan, telah dibuat desain dam sabo di : 1) Kali Lumajang – Linggasari, Kecamatan Wonodadi Kabupaten Banjarnegara, 2) Kali Merawu – Kesenet, Kecamatan Banjarmangu di Kabupaten Banjarnegara dan 3) Kali Songgo Luang – Wonokerto, Kabupaten Wonosobo. Dengan pertimbangan tersedianya dana dan besarnya

angkutan sedimen, data hidrologi runtut waktu dan kemudahan pencapaian lokasi serta luas penampang sungai maka hanya dibangun sebuah contoh dam sabo berinovasi, yaitu di Kali Lumajang – Linggasari.

## METODOLOGI

### 1 Lokasi dan Waktu Penelitian

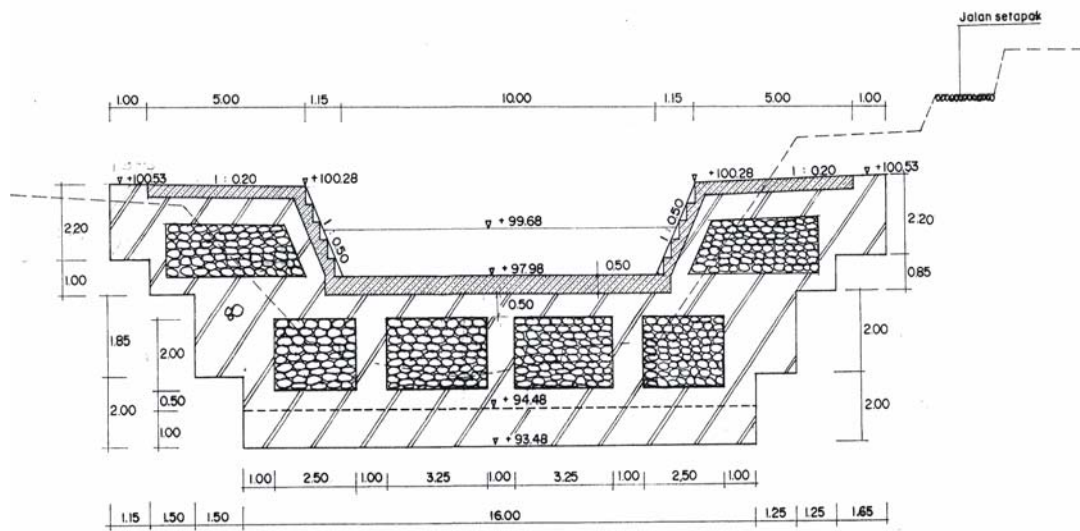
Dam sabo berinovasi di Kali Lumajang dibangun tahun 2007, berlokasi di Desa Linggasari, Kec. Wanadadi, Kab. Banjarnegara. Pelaksanaan pembangunan dilakukan dengan lelang terbuka di Balai Sabo.

Pembangunan dam sabo berdasarkan kriteria teknis yang telah ditetapkan di Departemen PU. Evaluasi kinerja dam sabo mencakup fungsi dan efektifitas, serta stabilitas, dan manfaat dam sabo (Badan Standarisasi Nasional, 1991; STC, 2004; Agus Sumaryono, dkk., 2002).

Dam sabo Kali Lumajang di Desa Linggasari, terletak pada koordinat geografis pada 109° 40' 34" BT, 07° 21' 40" LS (Peta Rupa Bumi Indonesia skala 1 : 25.000, edisi I tahun 2000 No. Lembar 1408-414 Karangkoobar), memiliki luas DAS 8,00 km<sup>2</sup> dan panjang sungai Lumajang 7,75 km. Penelitian kinerja dam sabo ini dilaksanakan pada tahun 2007 – 2009.

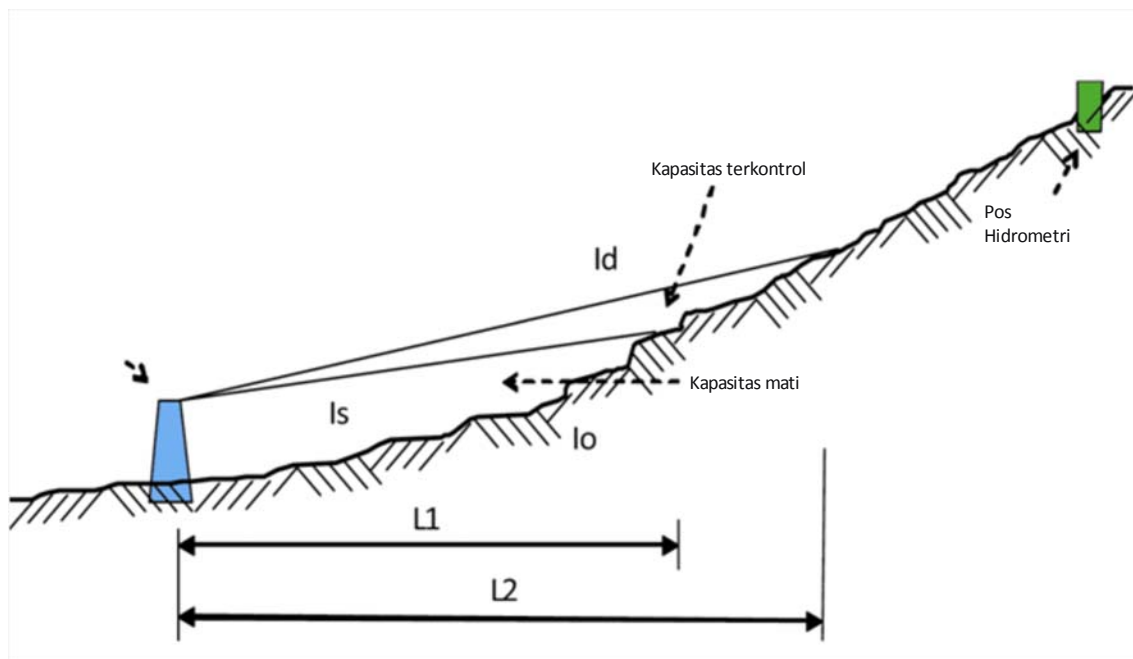
### 2 Ruang Lingkup dan Tahapan Penelitian

Lingkup penelitian ini terbatas pada evaluasi kinerja dam sabo di Kali Lumajang - Linggasari sebagai contoh pengendali sedimentasi Waduk Mrica. Secara umum lingkup



**POT. B - B**  
Skala 1 : 100

**Gambar 2** Desain inovasi dam sabo K. Lumajang – Linggasari



**Gambar 3** Sketsa tampang sedimen di hulu sabo dam K. Lumajang

pelaksanaan evaluasi kinerja dam sabo adalah melakukan evaluasi tentang fungsi dan efektifitas serta stabilitas dan manfaat dam sabo.

Penelitian ini dimulai dengan tahapan membangun dam sabo berinovasi tipe tertutup, pengumpulan data sekunder, pengukuran data hidrologi dan angkutan sedimen serta geometri sungai langsung di lapangan, uji laboratorium dan kemudian dilanjutkan menganalisis dan menginterpretasi data untuk mengambil kesimpulan.

### 3 Metode Menentukan Fungsi dan Efektifitas

Fungsi dan efektifitas dam sabo di DAS Lumajang dapat diketahui dari data debit dan sedimen runtut waktu, inflow sedimen yang masuk ke waduk, sedimen yang mengendap dan kapasitas tampung dam sabo.

Data debit runtut waktu diperoleh dengan mengalih ragamkan data tinggi muka air runtut waktu menjadi debit runtut waktu berbasis persamaan lengkung debit (*discharge rating curve*).

Pengukuran tinggi muka air runtut waktu dilakukan di lokasi pos hidrometri K. Lumajang-Linggasari yang berjarak 175 m di sebelah hulu dam sabo. Pengukuran debit untuk membuat persamaan lengkung debit dilakukan dengan metode kecepatan-luas (Caughran, G.W., 1976; WMO,1980).

Data sedimen runtut waktu diperoleh dengan mengalihragamkan data debit runtut waktu menjadi sedimen runtut waktu berbasis persamaan lengkung sedimen (*sediment rating curve*). Debit sedimen ditentukan berdasarkan konsentrasi sedimen. Besarnya konsentrasi sedimen yang terkandung dalam aliran diperoleh dengan mengambil sampel untuk diuji di laboratorium.

Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan sedimen sampler tipe US-DH.48 (*United State Depth Integrating 48*), karena kedalaman aliran kurang dari 3,0 m. Setelah diketahui besarnya konsentrasi sedimen, maka dapat dihitung besarnya debit sedimen suspensi menggunakan rumus (Stigter, et al., 1989; WMO,1989) sebagai berikut:

$$Q_s = 0,0864CQ_w \quad \dots(1)$$

Keterangan:

$Q_s$ , debit sedimen suspensi (ton/hari)

$C$ , konsentrasi sedimen suspensi (mg/l)

$Q_w$ , debit aliran sungai ( $m^3/s$ )

Dari perhitungan debit sedimen ( $Q_s$ ) dan debit air yang diukur di lapangan ( $Q_w$ ) persamaan (1), maka dapat dibuat lengkung sedimen. Lengkung sedimen selanjutnya digunakan sebagai basis untuk menghitung debit sedimen runtut waktu setelah debit runtut waktu diketahui.

Perubahan kapasitas tampung dam sabo diukur secara berkala secara langsung menggunakan alat ukur sipat ruang (*theodolit*) dan sipat datar (*waterpass*) dengan memperhatikan elevasi titik-titik tetap yang telah dibangun di kanan dan kiri alur sungai 100 m kerah hulu dan hilir dam sabo.

Perubahan kapasitas tampung dam sabo hasil pengukuran tersebut digunakan untuk menentukan sedimen yang mengendap dan serta yang terangkut masuk ke waduk sehingga dapat ditentukan fungsi dam sabo menampung sedimen dalam periode waktu tertentu.

Efektifitas dam sabo ditentukan dari perbandingan antara volume sedimen yang dapat ditampung terhadap total angkutan sedimen dalam periode waktu tertentu.

#### 4 Metode Menentukan Stabilitas dan Manfaat

Stabilitas dam sabo ditentukan dengan cara pengamatan secara visual tentang kerusakan struktur dam sabo, terjadinya penggerusan dan atau pengendapan di hilir dan hulu dam sabo.

Manfaat yang dimaksud pada penelitian ini adalah menentukan kualitas endapan sedimen yang tertampung di kapasitas tampung dam sabo apakah memenuhi syarat jika dimanfaatkan untuk bahan bangunan. Sampel endapan sedimen diambil secara acak untuk dilakukan uji tekan dan kuat lentur di Laboratorium Mekanika Tanah Balai Sabo.

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 1 Dam Sabo K. Lumajang-Linggasari

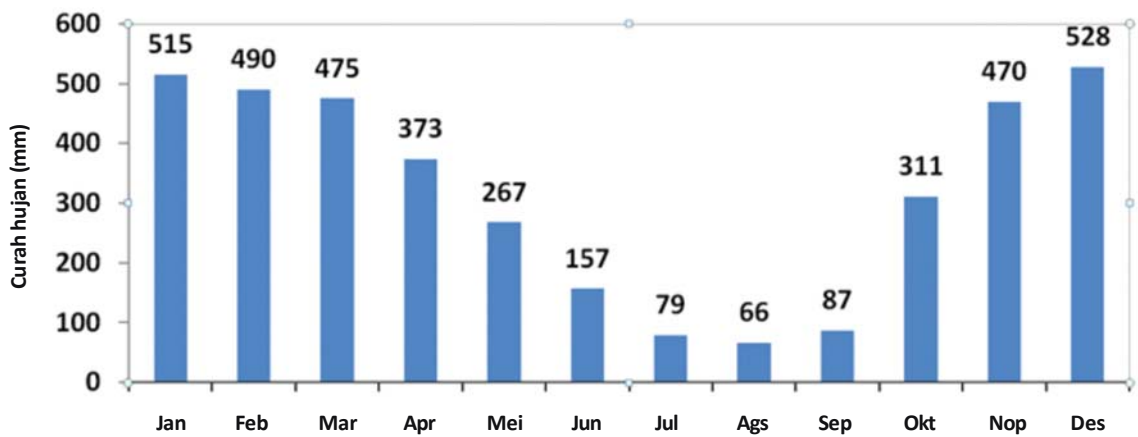
Dam Sabo K. Lumajang-Linggasari didesain tahun 2006. Kontrak pembangunan dilaksanakan dengan lelang terbuka pada tahun 2007. Pelaksanaan pembangunan dimulai bulan Juni 2007 selesai dibangun bulan Agustus tahun 2007. Gambar 1, menunjukkan kondisi situasi lokasi dam sabo K. Lumajang - Linggasari. Terletak sekitar 200 m di hilir jembatan jalan raya Banjarmangu - Wonodadi, sehingga mudah dicapai. Sosialisasi kepada masyarakat setempat pra pembangunan dilaksanakan di Kantor Desa Linggasari dihadiri oleh sekitar 76 orang meliputi masyarakat, aparat desa, pejabat Pemda Kabupaten Banjarnegara, dan perwakilan dari PLTA UBP Mrica.

Camat Wanadadi menekankan dan mengajak masyarakat untuk mendukung pembangunan dam sabo ini, karena sejalan dengan program kecamatan dalam pelestarian lingkungan.

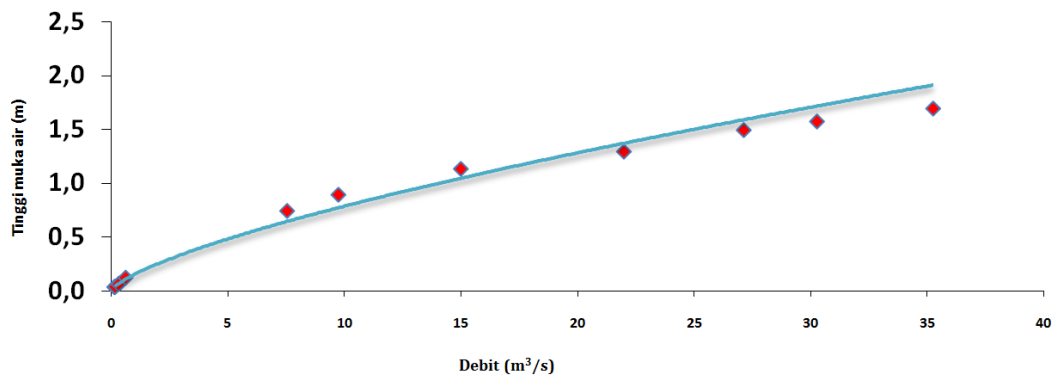
Sekda Kabupaten Banjarnegara menekankan kepada masyarakat, bahwasanya sumber sedimen Waduk Mrica adalah erosi di kawasan hulu DAS, namun mengubah perilaku masyarakat untuk bercocok tanam sesuai kaidah konservasi sangat sulit, maka membuat dam sabo adalah suatu alternatif mencegah sedimen masuk ke waduk Mrica.

Perwakilan PLTA UBP Mrica menyatakan mendukung dan berterima kasih dengan pembangunan dam sabo ini. Oleh karena dengan mendapat dukungan dari masyarakat dan Pemda setempat maka pembangunan dam sabo di K. Lumajang Desa Linggasari dapat selesai tepat waktu, dan tanpa kendala yang berarti.

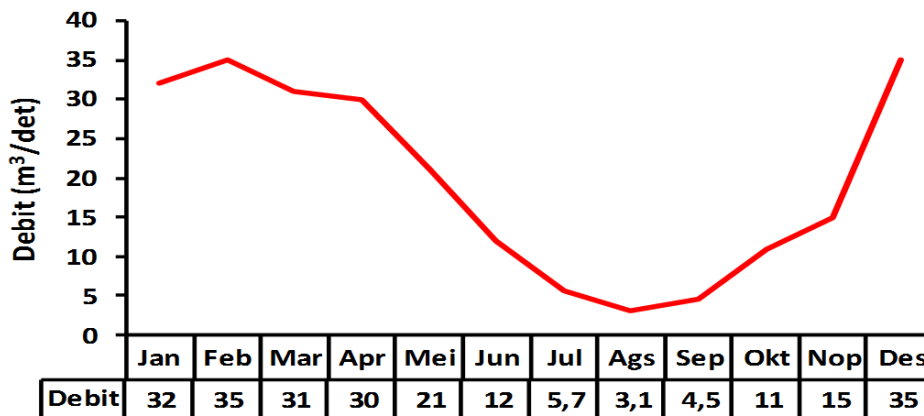
Gambar 2, menunjukkan tubuh main dam, yang umumnya dibangun dengan beton bertulang, namun pada penelitian ini dilakukan inovasi struktur, yaitu tubuh bendung utama dibuat dari campuran batu kali dengan pasir dan



**Gambar 4** Curah hujan rata-rata bulanan 1979-2004 DAS Lumajang



**Gambar 5** Lengkung debit dam sabo K. Lumajang – Linggasari 2007 -2009



**Gambar 6** Debit rata-rata 2003-2009 K. Lumajang – Linggasari

batu kali dengan kapur dibungkus dengan selimut beton tanpa tulangan. Inovasi ini dapat menghemat biaya pembangunan sebesar kurang lebih 10 %. Oleh karena itu cara inovasi ini layak dapat diterapkan untuk pembangunan dam sabo di lokasi lain.

Berikut disampaikan data teknis dam sabo K. Lumajang-Linggasari, seperti ditunjukkan pada sketsa Gambar 3, sebagai berikut:

- 1) Kapasitas mati: 807,38 m<sup>3</sup>, Kapasitas terkontrol: 201,94 m<sup>3</sup>, Kapasitas tampungan total: 1.009,32 m<sup>3</sup>. Debit banjir rencana Q<sub>50</sub>: 41,0 m<sup>3</sup>/s. Kemiringan dasar sungai (*original riverbed gradient*) rata-rata (I<sub>0</sub>): 0,033. Kemiringan dasar sungai statis (*static riverbed gradient* = I<sub>s</sub>): 0,5 - ,75 x I<sub>0</sub>, Kemiringan dasar sungai dinamis (*dynamic riverbed gradient* = I<sub>d</sub>): 0,60 - 0,80 x I<sub>0</sub>

- 2) Main Dam  
Tipe: konvensional (tertutup) dengan inovasi struktur. Elevasi pelimpah: +97,98 m (dari titik tetap +100,00 m, di mercu penampang kendali (*section control*) pos hidrometri K. Lumajang. Tinggi dam: 2,50 m. Lebar dam: 10 m. Panjang dam: 15 m. Kemiringan hulu = 1 : 0,40 dan hilir = 1 : 0,20

- 3) Sub dam  
Elevasi ambang : +95,0 m. Lebar mercu: 10 m

Dari pengamatan di lapangan dapat diketahui bahwa DAS Lumajang bagian hulu, umumnya topografi berbukit-bukit mempunyai kemiringan dasar sungai curam, merupakan daerah produksi sedimen dengan alur berbentuk V. Pada bagian tengah kemiringan dasar sungai sedang merupakan daerah transportasi sedimen dan ditandai dengan alur berbentuk U, sedangkan pada sungai bagian hilir kemiringan dasar sungai landai merupakan daerah pengendapan sedimen.

Selanjutnya diketahui bahwa ternyata di kawasan K. Lumajang di Desa Linggasari

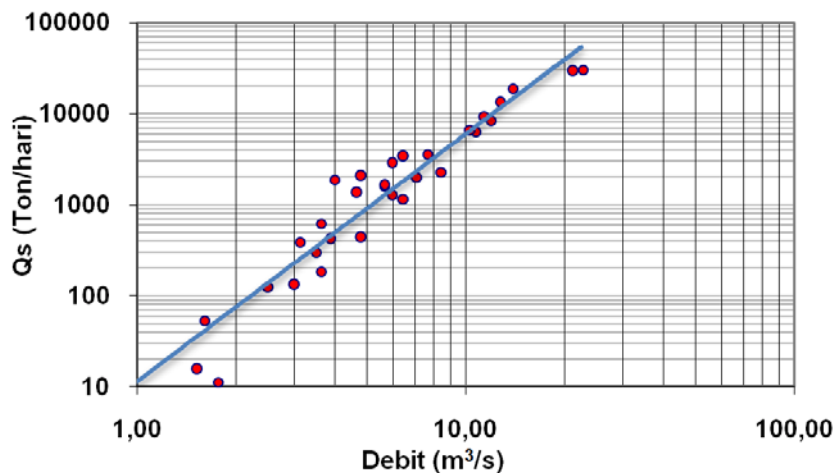
merupakan daerah pengendapan sedimen, oleh karena itu maka jika dibangun dam sabo akan terbentuk endapan di hulu bangunan. Besarnya volume endapan direncanakan sesuai rencana dengan memperhatikan kondisi dan kapasitas alur sungai yang ada, agar tidak terjadi hal-hal yang tidak diinginkan misalnya pelimpasan aliran banjir ke luar alur sungai.

Berdasarkan hasil pengamatan tersebut maka dam sabo di K. Lumajang di desain untuk banjir maksimum dengan periode ulang 50 tahunan, sebesar 41 m<sup>3</sup>/s, agar aliran banjir tidak melimpas ke arah tebing kanan-kiri sungai yang merupakan lahan kebun dan rumah penduduk.

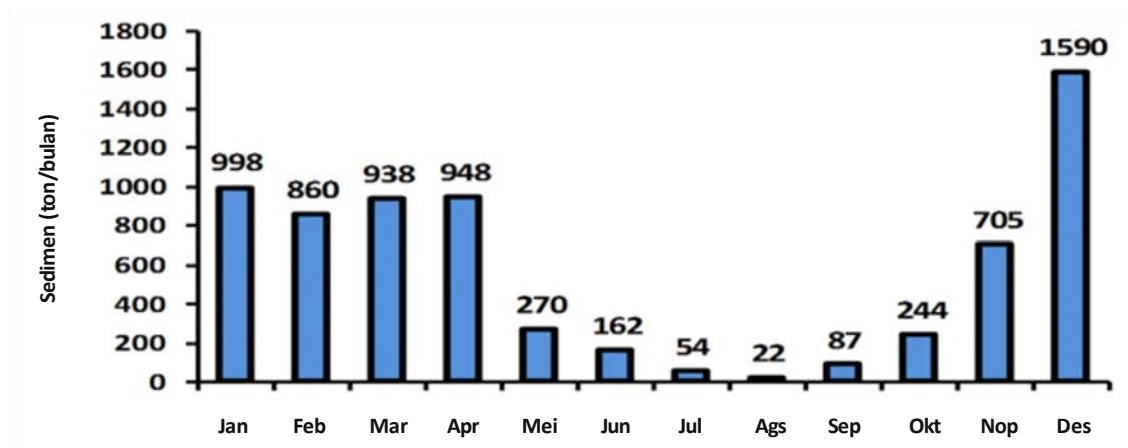
Selanjutnya elevasi dam sabo di ukur dari datum pos duga air K. Lumajang – Linggasari pada +100 m, berjarak 150 m di hulu dam sabo. Patok-patok beton di bangun di sisi kanan dan kiri tebing alur sungai sebagai datum pengukuran perubahan geometri alur sungai.

## 2 Curah hujan, Debit dan Angkutan Sedimen

Data hidrologi yang terkumpul meliputi



Gambar 7 Lengkung sedimen suspensi dam sabo K.Lumajang - Linggasari



Gambar 8 Debit sedimen suspensi bulanan rata-rata K. Lumajang-Linggasari tahun 2003-2009



data hujan dari pos Wanadadi yang paling berdekatan dengan DAS dam sabo K. Lumajang. Data hujan tersebut meliputi data hujan bulanan dari tahun 1979 s/d 2004 dan data hari hujan mulai tahun 1998 s/d 2007 serta data hujan harian maksimum tahun 2002 sampai dengan 2009.

Gambar 4, menunjukkan curah hujan rata-rata bulanan berkisar 66 - 528 mm perbulan. Dapat diketahui curah dalam setahun berkisar antara 2131 - 5479 mm, dengan jumlah hari hujan rata-rata 130 hari pertahun. Curah hujan maksimum yang terbesar adalah 140 mm/hari, terjadi pada bulan Maret 2003.

Dengan curah hujan yang cukup besar tersebut maka akan dapat memicu terjadinya erosi lahan DAS Lumajang, sebagai sumber sedimen yang masuk ke Waduk Mrica.

Dari pos Hidrometri K. Lumajang - Linggasari yang dikelola PLTA UBP Mrica diperoleh data fluktuasi tinggi muka air runtut waktu. Tinggi muka air banjir maksimum yang pernah terjadi di Kali Lumajang tercatat 1,70 m, dengan debit 41,0 m<sup>3</sup>/s pada tahun 1998, dipakai sebagai dasar untuk desain dam sabo K. Lumajang.

Setelah disetarakan dengan elevasi titik nol papan duga air pos hidrometri dengan elevasi pelimpah dam sabo, maka diperoleh tinggi muka air maksimum 1,40 m dan minimum 0,10 m di atas pelimpah mercu dam sabo.

Pengukuran debit tahun 2007 - 2009 dilakukan tim peneliti dari Balai Sabo bersama-sama dengan tim PLTA UBP Mrica menggunakan alat ukur arus. Hasil pengukuran digambarkan dalam kurva lengkung debit ditunjukkan pada Gambar 5, yang diketahui bahwa besarnya debit (Q, m<sup>3</sup>/s) merupakan fungsi dari tinggi muka air (H, m) dan dihasilkan persamaan:

$$Q = 13.78 H^{1.423} \quad \dots (2)$$

Dari grafik lengkung debit pada Gambar 5, digunakan untuk menghitung debit runtut waktu berbasis data tinggi muka air hasil pencatatan AWLR pos hidrometri K. Lumajang.

Hasil perhitungan debit rata-rata 2003-2009 ditunjukkan pada Gambar 6, diketahui debit di lokasi dam sabo berkisar antara 3,1 - 35,2 m<sup>3</sup>/s. Debit yang cukup besar ini memungkinkan sedimen yang terangkut juga cukup besar.

Besarnya konsentrasi sedimen yang terkandung dalam aliran ditentukan dengan cara mengambil sampel air sungai untuk diuji di laboratorium.

Selanjutnya digunakan untuk membuat lengkung sedimen suspensi, seperti ditunjukkan

pada Gambar 7, dan diketahui bahwa besarnya debit sedimen suspensi (Q<sub>s</sub>, ton/hari) merupakan fungsi dari debit aliran (Q<sub>w</sub>, m<sup>3</sup>/s) dengan persamaan:

$$Q_s = 17,94 Q_w^{2,342} \quad \dots (3)$$

Berdasarkan persamaan (3) tersebut dan data debit runtut waktu, maka dapat ditentukan angkutan sedimen suspensi pada rentang waktu tahun 2003 -2009, seperti dalam Gambar 8, berupa sedimen suspensi bulanan rata-rata. Berdasarkan data Gambar 8, tersebut, maka diperoleh debit sedimen suspensi tahun 2003-2009 berkisar antara 12,9-1595 ton/bulan dan setahun sekitar 6.575 ton/tahun.

Dari analisa laboratorim sampel sedimen diperoleh berat jenis kering sedimen = 1,09 ton/m<sup>3</sup>. Maka volume sedimen suspensi data Gambar 8, adalah = 6575 ton/tahun dibagi dengan 1,097 ton/m<sup>3</sup> = 5593 m<sup>3</sup>/tahun.

Berdasarkan persamaan (3) dan data debit runtut waktu khusus periode November 2007 s/d Oktober 2008 , maka dapat ditentukan angkutan sedimen dengan rentang waktu satu tahun November 2007 s/d Oktober 2008 seperti di dalam Tabel 1.

**Tabel 1** Sedimen Suspensi di dam Sabo K. Lumajang Selama tahun 2007/2009

Bulan	Sedimen suspensi ton/bln	Bulan	Sedimen suspensi ton/bln
Nop-07	408.32	Nop-08	1351
Des-07	1585.49	Des-08	482
Jan-08	669.09	Jan-09	2323
Feb-08	207.37	Feb-09	2030
Mar-08	1656.32	Mar-09	998
Apr-08	2077.53	Apr-09	354
Mei-08	205.11	Mei-09	1037
Jun-08	21.40	Jun-09	870
Jul-08	1.89	Jul-09	4,70
Ags-08	3.68	Ags-09	91,5
Sep-08	3.08	Sep-09	2,50
Okt-08	643.94	Okt-09	-
Jumlah	7,483.23		

Berdasarkan Tabel 1 tersebut, maka sedimen selama tahun 2007/2008 sekitar 7.483 ton/tahun. Analisa laboratorium diperoleh berat jenis kering sedimen 1,097 ton/m<sup>3</sup>, maka volume sedimen suspensi Tabel 1, selama November 2007/ Oktober 2008 = 7.483 ton/tahun dibagi dengan 1,09 ton/m<sup>3</sup> = 6821,33 m<sup>3</sup>/tahun.

### 3 Fungsi dan Efektifitas Dam sabo

#### 1) Fungsi dam sabo

Fungsi dari pembangunan dam sabo K. Lumajang adalah untuk menahan, menampung dan mengendalikan sedimen yang masuk ke Waduk Mrica. Penampang memanjang alur sungai pada saat awal pembangunan dam sabo dan setelah penggenangan diukur secara berkala, sehingga bentuk alur sungai dapat diamati perubahan elevasinya.

Pengukuran penampang tersebut terutama setelah terjadi banjir, sehingga dapat diketahui perubahan volume sedimen yang mengendap dan tertahan di dam sabo.

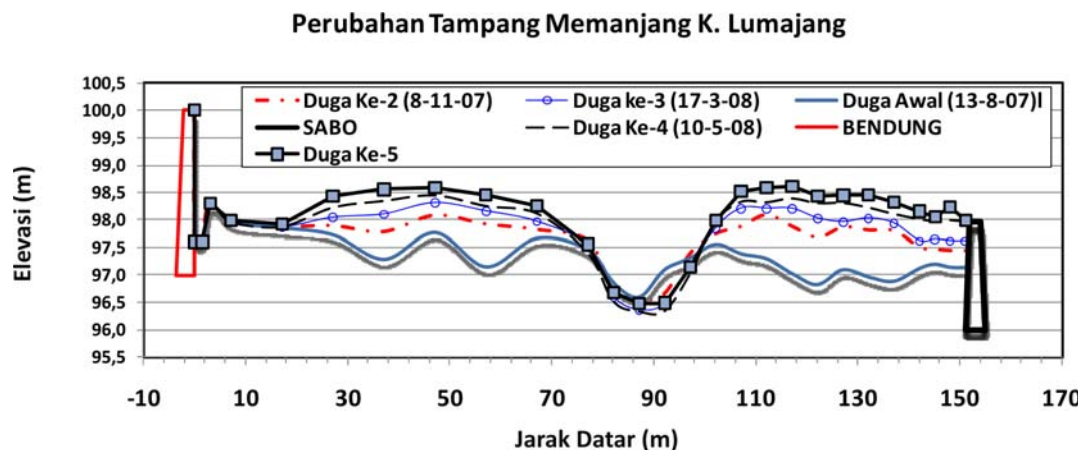
Pengukuran penampang awal dilaksanakan pada tanggal 13 Agustus 2007, segera setelah dilakukan penggenangan dam sabo. Pengukuran awal tersebut dilakukan untuk mengetahui batas awal dasar sungai

sebelum adanya pengendapan sebagai akibat adanya bangunan dam sabo.

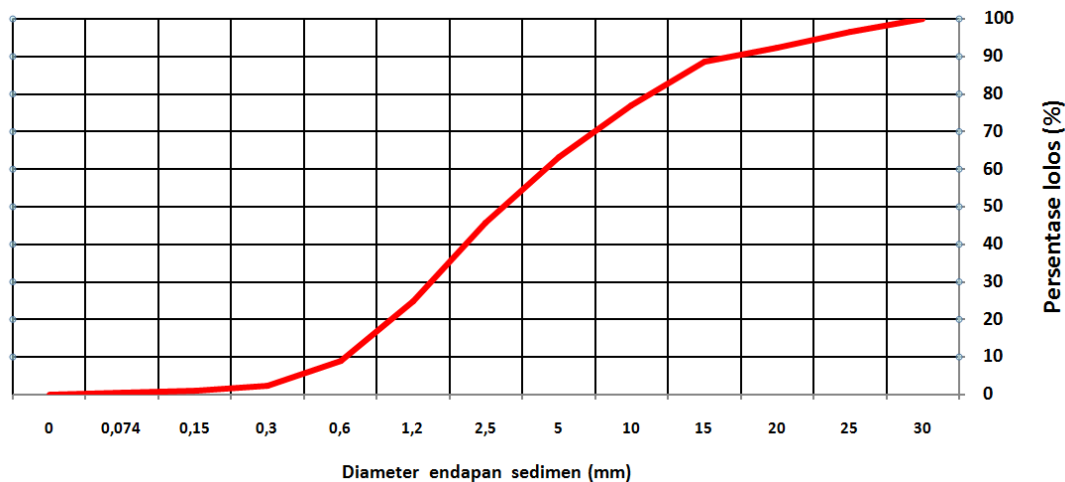
Pengukuran penampang ke dua dilaksanakan pada tanggal 8 Nopember 2007, yaitu setelah lama pengisian sekitar 2,5 bulan diperoleh hasil volume endapan yang tertahan sebesar 315 m<sup>3</sup>, kemudian pengukuran penampang ke tiga dilaksanakan pada tanggal 17 Maret 2008, didapat hasil volume endapan sedimen yang tertampung secara akumulatif sebesar 755, m<sup>3</sup> dengan lama waktu pengisian selama 6 bulan.

Selanjutnya pengukuran penampang ke empat dilaksanakan pada tanggal 10 Mei 2008, diperoleh hasil volume endapan sedimen yang tertampung di dam sabo sebesar 1.350 m<sup>3</sup> dengan lama waktu pengisian selama 8 bulan, yaitu satu kali musim hujan 2007/2008.

Pada pengukuran penampang 23 Juli



**Gambar 9** Penampang sungai di hulu dam sabo K. Lumajang



**Gambar 10** Gradasi material endapan sedimen di dam sabo K. Lumajang

2009, yang merupakan pengukuran penampang ke-5 diperoleh volume endapan kumulatif yang tertampung di dam sabo sebesar 1.390 m<sup>3</sup>, sedangkan volume tampungan sedimen rencana adalah 1.009 m<sup>3</sup>, sehingga volume endapan yang ada telah melebihi kapasitas tampung rencana.

Hal itu terjadi karena kapasitas terkontrol dapat menampung endapan lebih banyak dari yang direncanakan, disebabkan karena adanya perubahan morfologi sungai sekitar 70 – 110 m hulu dam sabo, seperti ditunjukkan pada Gambar 9. Hasil pengukuran pengisian endapan tahun 2009 dam sabo tidak begitu signifikan, mengingat pada musim hujan tahun 2008 endapan sedimennya telah mencapai kapasitas penuh, dan belum dilakukan penambangan endapan sedimen. Jadi sebenarnya dam sabo K. Lumajang pada tahun 2008/2009 hanya menampung sedimen sebesar  $1390 - 1350 \text{ m}^3 = 40 \text{ m}^3$ , sisanya terangkut masuk ke Waduk Mrica.

Pengukuran penampang yang ke lima, pada 23 Juli 2009, nampak di beberapa titik terjadi penambahan sedikit endapan dan pada beberapa titik lainnya tidak mengalami penambahan atau bahkan mengalami pengurangan. Dari Gambar 9, jika pada jarak 80 – 120 m dari hulu dam sabo material dasarnya berupa batu-batu besar ditambang maka akan dapat mengubah kemiringan sungai dan akan memperbesar volume sedimen yang tertampung di dam sabo.

Dilihat dari volume sedimen yang telah mengendap dan tertampung pada bangunan dam sabo telah mencapai volume rencana dan bahkan melampaui, sehingga bangunan dam sabo telah berfungsi dengan baik dalam menampung sedimen DAS Lumajang dan mengendalikan sedimen yang masuk ke Waduk Mrica.

Gradasi endapan sedimen yang tertampung pada dam sabo berupa batu, krikil, pasir dan sebagian kecil pasir halus atau lanau. Sedimen berukuran kecil mengendap pada saat awal pengisian, hal ini karena di hulu dam sabo terbentuk genangan yang mengakibatkan menurunnya kecepatan aliran sehingga gerakan partikel sedimen arah horizontal lebih kecil dibanding dengan gerakan arah vertikal (*settling velocity*), maka terjadi pengendapan.

Menurut Fujita (2005), sedimen yang terangkut pada alur sungai tidak semuanya dapat terendapkan pada dam sabo. Sedimen bilas (*wash load*) dengan diameter < 0.1 mm tidak mengendap walaupun kecepatan air mendekati nol, sedangkan sedimen suspensi (*suspended load*) dan sedimen dasar (*bed load*) dengan diameter > 0,1 mm akan mengendap apabila kecepatan air nol atau mendekati nol (Fauzi, B.A., 2006).

Dari uji laboratorium sampel material dasar (*bed material*) yang terendap di yang diambil pada 8 November 2007, yaitu 2,5 bulan setelah penggenangan, diperoleh sedimen yang berukuran 0,10 - 1,0 mm sebesar 60 %, dan sampel 17 Maret 2008, yaitu 6 bulan setelah penggenangan turun menjadi 7 %, selanjutnya sampel 27 Mei 2009, yaitu 20 bulan setelah penggenangan turun menjadi kurang dari 1 %, selebihnya berukuran pasir, kerikil, kerakal sampai batu.

Pada 2,5 bulan penggenangan belum banjir terjadi banjir, sehingga yang mengendap adalah sedimen suspensi, disamping sedimen dasar. Gambar 10, menunjukkan contoh gradasi material endapan dasar sungai di dam sabo 27 Mei 2009.

Oleh karena itu dam sabo telah berfungsi dengan baik karena mampu mengurangi laju sedimentasi yang masuk ke Waduk Mrica, meskipun dalam satu kali musim hujan saja kapasitas tampung sedimen sudah penuh dan yang mengendap adalah sedimen suspensi, di samping sedimen dasar.

## 2) Efektifitas Dam Sabo

Efektivitas dam sabo di DAS Lumajang dapat diketahui dari analisa data debit dan sedimen runtut waktu sehingga dapat ditentukan volume sedimen yang mengendap di dam sabo dan volume sedimen total yang masuk ke waduk. Dari analisa data pemeruman waduk (*sounding waduk*) tahun 1989-2004, diketahui volume sedimen yang masuk ke Waduk Mrica sebesar 4,20 juta m<sup>3</sup>/tahun, terdiri sedimen suspensi 2,30 juta m<sup>3</sup> (55 %) dan dari sedimen dasar 1,90 juta m<sup>3</sup> (45 %). Volume sedimen dasar =  $1,90 \text{ juta m}^3 / 2,3 \text{ juta m}^3 \times 100 = 82,6 \%$  dari volume sedimen suspensi, yang selama ini umumnya hanya diperkirakan sebesar 10 %. Selanjutnya diketahui bahwa sumber inflow sedimen waduk Mrica berturut - turut dari Sub. DAS Merawu sebesar 55,93 %, dari Sub.DAS Serayu Hulu 43,87 % dan dari Kali Lumajang 0,181 % (Soewarno dan Syariman, 2008).

Dari data tersebut maka angkutan sedimen total rata-rata yang masuk ke Waduk Mrica dari DAS Lumajang =  $0,00181 \times 4,20 \text{ juta m}^3/\text{tahun} = 7600 \text{ m}^3/\text{tahun}$ . Dari pengukuran endapan sedimen 23 Juli 2009, volume yang tertampung di dam sabo = 1.390 m<sup>3</sup>. Dengan demikian efektifitas rata-rata tahunan dam sabo K. Lumajang dapat mengurangi sedimen sebesar  $1390 \text{ m}^3 / 7600 \text{ m}^3 \times 100 = 18,0 \%$ /tahun (dibulatkan) dari angkutan sedimen yang terangkut di DAS Lumajang,

Khusus, untuk menentukan efektifitas dam sabo K. Lumajang tahun 2007/2008 adalah

bahwa dari data Tabel 1, tersebut di muka, telah diperoleh volume sedimen suspensi selama tahun 2007/2008 = 6821,33 m<sup>3</sup>. Jika ditambah sedimen dasar = 82,6 % dari volume sedimen suspensi, maka volume sedimen total yang masuk ke waduk dari lokasi dam sabo = 6821,33 m<sup>3</sup> + 0,826 x 6821,33 m<sup>3</sup> = 12.415 m<sup>3</sup>. Sedangkan yang tertampung di dam sabo hasil pengukuran 10 Mei 2008 sebesar 1.350 m<sup>3</sup>. Dengan demikian efektifitas dam sabo untuk tahun 2007/2008 adalah = 1350 m<sup>3</sup>/12415 m<sup>3</sup> x 100 = 11 % (dibulatkan).

Selanjutnya, bila diperhitungkan terhadap inflow sedimen total yang masuk ke Waduk Mrica sebesar 4,20 juta m<sup>3</sup>/tahun maka efektifitas dam sabo K. Lumajang ini hanya 1390 m<sup>3</sup> /4200.000 m<sup>3</sup> x 100 = 0,034 %. Suatu angka yang masih sangat kecil. Untuk menaikkan angka efektifitas tersebut maka perlu dibangun 47 dam sabo yang telah diusulkan yang tersebar di seluruh DAS Waduk Mrica.

Untuk tahun 2008/2009 praktis angkutan sedimen K. Lumajang tidak semua tertahan di dam sabo karena tambahan volume yang tercampung hanya 1390 m<sup>3</sup> - 1350 m<sup>3</sup> = 40 m<sup>3</sup>.

Dari Gambar 9, menunjukkan tampungan dam sabo sudah penuh, oleh karena itu untuk meningkatkan fungsi dan efektifitasnya diperlukan upaya penambangan galian C.

## 4 Stabilitas dan Manfaat

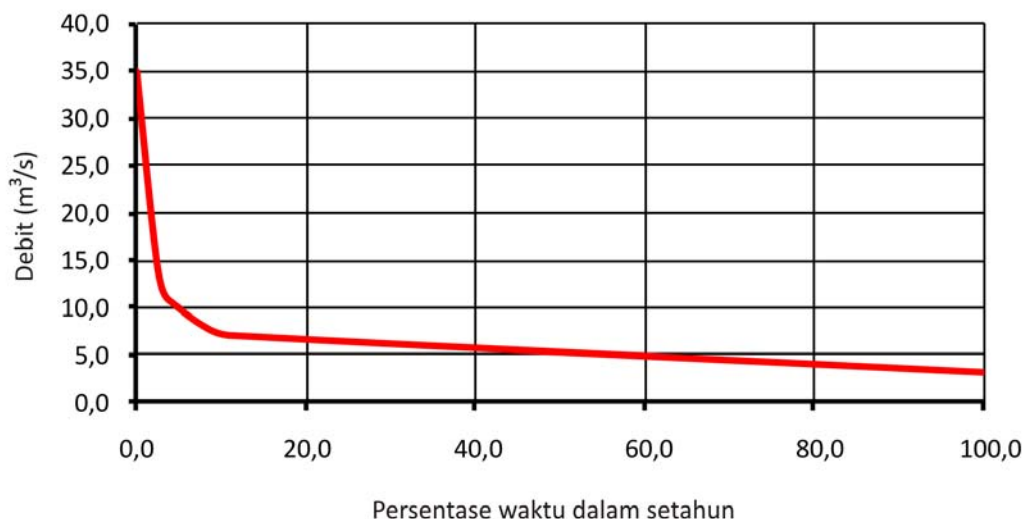
### 1) Stabilitas Dam sabo

Stabilitas bangunan dam sabo ditentukan dengan cara mengamati secara langsung kondisi bendung utama (*main dam*) dan sub dam serta sayap bangunan.

Dam sabo K. Lumajang didesain dengan inovasi struktur yakni tubuh main dam dibuat dari pasangan batu kali, 1 semen : 4 pasir dikombinasikan dengan pasangan batu kali, 1 kapur : 4 pasir yang dibuat berselang-seling yang kemudian dibungkus dengan selimut beton, campuran 1 semen : 3 pasir : 5 kerikil tanpa tulangan.

Bagian mercu/*spillway* dibuat dari beton, campuran 1 semen : 2 pasir : 3 kerikil sebagai lapisan tahan abrasi. Di bagian hilir main dam dibuat kolam olakan sebagai pematah energi aliran, dan dibagian paling hilir ditutup dengan sub dam.

Gambar 11, menunjukkan kurva durasi aliran (*flow duration curve*) dam sabo K. Lumajang tahun 2007/2008. Bentuk kurva durasi aliran yang tajam menandakan bahwa banjirnya cepat naik dan cepat surut. Kurang dari 5 % dalam waktu setahun terjadi debit banjir antara 10 - 30 m<sup>3</sup>/s, Banjir maksimum tahun 2007/2008 adalah 35,2 m<sup>3</sup>/s atau sekitar 85 % dari banjir maksimum yang pernah terjadi 41 m<sup>3</sup>/s pada tahun 1998.



**Gambar 11** Kurva durasi aliran (*flow duration curve*) dam sabo K.Lumajang tahun 2007/2008

Dari pengamatan di lapangan, ternyata meskipun terjadi beberapa kali banjir, dam sabo tidak mengalami kerusakan, tidak ada tanda-tanda kerusakan struktur bangunan, serta tidak terjadi longsor tebing, juga tidak terjadi degradasi alur sungai di hilir dam sabo.

Di bagian hilir main dam dibuat kolam olakan sebagai pematah energi aliran, dan dibagian paling hilir ditutup dengan sub dam, sehingga tidak menyebabkan degrasi di hilir dam sabo dan tidak menyebabkan erosi atau longornya tebing alur sungai. Dengan demikian dam sabo K. Lumajang sampai akhir tahun 2009 adalah bangunan dam sabo yang stabil.

## 2) Manfaat Dam Sabo

Dam sabo telah bermanfaat menampung sedimen, seperti yang terlihat dalam Gambar 9. Dam sabo dapat menampung endapan, namun penyebarannya masih kurang merata, karena dasar sungai di hulu bangunan berupa tanah keras dan berbatu menimbulkan gerusan di bagian hilir.

Volume sedimen yang mengendap pada bangunan dam sabo sebesar  $1.390 \text{ m}^3$ , tersebut merupakan penangkapan sedimen yang akan masuk ke dalam waduk apabila tidak ada dam sabo, namun volume endapan tersebut tidak menerus dalam arti kalau bangunan dam sabo telah penuh terisi endapan maka sedimen yang terangkut dari hulu tidak bisa lagi ditampung pada bangunan, sehingga sedimen akan terus mengalir ke hilir dan tetap masuk ke Waduk Mrica. Supaya manfaat tersebut dapat berlaku secara terus menerus maka diperlukan upaya untuk menambang galian C endapan sedimen yang ada di kapasitas tampung dam sabo.

Bahan galian C yang mengendap di kapasitas tampung dam sabo K. Lumajang, sampai tahun 2009, belum menarik minat masyarakat setempat untuk memanfaatkannya. Untuk itu muncullah ide agar masyarakat dapat memanfaatkan material tersebut sebagai bahan penyusun batako dengan kualitas yang memenuhi persyaratan teknis.

Hasil uji di Laboratorium Balai Sabo adalah :

- 1) pengujian kadar air 10,8 %, berat jenis 2,73, analisa ayakan butiran kasar, oleh karena itu agregat yang ada merupakan pasir normal dengan gradasi menerus yang jika digunakan untuk beton akan menghasilkan kuat tekan 15 Mpa – 40 Mpa.
- 2) uji kuat tekan menyatakan bahwa perbandingan 1:8 dengan fas 40 % menghasilkan beton/batako dengan kuat tekan yang paling besar yaitu  $95.41 \text{ kg/cm}^2$  ( 9.35 Mpa ). Sedangkan perbandingan 1:14

menghasilkan kuat tekan yang paling kecil yaitu  $59.81 \text{ kg/cm}^2$  ( 5.86 Mpa )

- 3) uji kuat lentur menghasilkan bahwa perbandingan 1:8 dengan fas 40 % menghasilkan beton/batako dengan kuat lentur yang paling besar yaitu  $12.1 \text{ g/cm}^2$  (1.18 Mpa). Sedangkan perbandingan 1:14 menghasilkan kuat lentur yang paling kecil yaitu  $8.2 \text{ kg/cm}^2$  (0.80 Mpa).

Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Bambang Jatmiko (2004) menyatakan bahwa standar kuat tekan batako adalah  $26,724 \text{ kg/cm}^2$  (Bambang Jatmiko, 2004). Oleh karena itu dari hasil uji tersebut di muka maka endapan sedimen di dam sabo K. Lumajang memenuhi syarat untuk digunakan membuat batako.

Kegiatan penambangan ini cukup besar artinya karena dapat memperpanjang umur layan bangunan dam sabo K. Lumajang, sehingga tetap dapat berfungsi dalam mengendalikan sedimen dan bermanfaat dalam menampung sedimen yang masuk ke Waduk Mrica.

Hal ini sangat penting karena dam sabo yang telah penuh terisi endapan tidak bisa menampung lagi sedimen yang terangkut dari daerah hulu, sehingga siklus dam sabo penuh endapan kemudian dikosongkan dan terisi kembali, kondisi tersebut akan membuat dam sabo K. Lumajang tetap dapat berfungsi terus.

Ketentuan yang perlu diperhatikan bagi penambang, adalah tidak merusak atau memungkinkan terjadinya kerusakan dam sabo. Disyaratkan lokasi penambangan sekitar 15 m di hulu dam sabo ke hulu sampai dengan 25 m hilir jembatan jalan raya Banjarmangu-Wanadadi, sedang sisi samping sebatas 1,0 m dari tebing-tebing di kiri dan kanan. Langkah yang dapat ditempuh yaitu melakukan kegiatan sosialisasi dan pemberdayaan masyarakat agar bersedia memanfaatkan endapan sedimen tersebut yaitu dengan cara menambang sebagai bahan bangunan yang sekaligus untuk menciptakan lapangan pekerjaan bagi masyarakat.

Meskipun membangun dam sabo, seperti di K. Lumajang ini, ternyata cukup efisien, namun membangun dam sabo bukan sarana utama atau obat mujarab untuk mengendalikan laju sedimentasi waduk, karena pekerjaan yang utama adalah mengendalikan sumber erosi DAS Waduk Mrica yang terangkut menjadi angkutan sedimen oleh aliran sungai.

Pengendalian laju sedimentasi Waduk Mrica dengan tekno sabo dapat dilaksanakan dengan membangun 47 dam sabo seperti telah disebut di muka, harus diikuti dengan konservasi lahan yang mencakup berbagai alternatif, terutama di Dataran Tinggi Dieng, dan bagian hulu DAS Merawu, Tulis, yang dari pengamatan

lapangan merupakan daerah sumber erosi di DAS Waduk Mrica. Hal itu diindikasikan oleh budidaya tanaman sayuran, terutama kentang pada lahan miring.

Budidaya tanaman sayuran di daerah hulu DAS di kawasan Dieng yang umumnya berada pada lahan berkelerengan curam (>40%); tanah berjenis Andosol, Regosol, dan Organosol yang peka terhadap erosi; dan curah hujan antara 2500-4000 mm/tahun dapat berdampak negatif baik pada tanah (erosi, tanah longsor dan penurunan produktivitas lahan), air (kuantitas dan kualitas air serta beban sedimen terangkut aliran yang tinggi), maupun udara (kualitas menurun akibat intensitas penggunaan insectisida dan pestisida yang tinggi) (Sukresno, dkk, 2007).

Genangan lumpur seperti yang terjadi di Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur bukan mustahil menjadi wajah Waduk Mrica, pada tahun 2021 mendatang, jika erosi dan sedimentasi dari daerah hulu DAS tidak dikendalikan, baik dengan cara membangun dam sabo atau dengan konservasi lahan. Laju sedimentasi yang masih tinggi menunjukkan bahwa konservasi lahan belum berhasil. Waduk Mrica yang diandalkan sebagai pemasok air oleh Pembangkit Listrik Tenaga Air itu akan tertutup lumpur, dan jaringan listrik Jawa, Madura, dan Bali (Jamali) akan terganggu.

Membuat model percontohan mengukur erosi dan angkutan sedimen dengan berbagai perlakuan lahan serta percontohan konservasi serta membuat contoh dam sabo berinovasi di Dataran Tinggi Dieng, dan bagian hulu DAS Merawu, Tulis, menjadi penting untuk dilakukan pada kelanjutan penelitian yang serupa dengan ini.

Dam sabo K. Lumajang telah berfungsi menampung dan mengendalikan sedimen serta bermanfaat dalam mengurangi sedimentasi Waduk Mrica, di samping material endapan dapat digunakan sebagai bahan bangunan, dapat digunakan sebagai salah satu contoh pengendalian sedimentasi waduk dengan menerapkan tekno-sabo. Pengendalian sedimentasi Waduk Mrica harus bersifat terpadu antar instansi dan pelaksanaannya perlu koordinasi dengan berbagai institusi Litbang yang terkait.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### 1 Kesimpulan

Dari uraian tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa Waduk Mrica dengan kapasitas 140 juta m<sup>3</sup>, dibangun tahun 1988, dengan umur layan 50 tahun. Fakta menunjukkan

dengan laju sedimentasi 4,20 juta m<sup>3</sup>/tahun maka tahun 2021 akan terisi penuh endapan. Bila dibangun 47 dam sabo dengan kapasitas total 10 juta m<sup>3</sup>, dan disertai penambangan endapan 1,3 juta m<sup>3</sup>/tahun di dam sabo maka umur layan dapat diperlama sampai tahun 2031.

Penelitian ini berlangsung tahun 2007-2009. Pembangunan dam sabo di DAS K. Lumajang tahun 2007, merupakan salah satu cara alternatif, sebagai contoh yang dapat digunakan sebagai acuan untuk 47 lokasi dam sabo DAS Serayu, Merawu, Tulis dan Begaluh yang diusulkan untuk menahan, menampung dan mengendalikan laju sedimentasi Waduk Mrica.

Bangunan dam sabo K. Lumajang adalah tipe tertutup, dengan kapasitas rencana 1009 m<sup>3</sup>. Bendung utama dibangun dengan tinggi 2,50 m, lebar 10 m, dibagian hilirnya dibuat kolam olakan sebagai pematah energi dan 15 m ke arah hilir ditutup dengan subdam lebar 10 m. Dibangun dengan inovasi struktur, dapat menghemat biaya paling tidak 10 %.

Fungsi dam sabo K. Lumajang telah berhasil seperti yang direncanakan, terlihat dari 5 kali pemetaan geometri alur sungai pada satu kali musim hujan 2007/2008 sudah menampung sedimen 1350 m<sup>3</sup> dan melebihi kapasitas rencana 1009 m<sup>3</sup>, selanjutnya pada tahun 2008/2009 terukur 1390 m<sup>3</sup>, berarti yang tertampung hanya 40 m<sup>3</sup> sisanya masih mengalir masuk ke Waduk Mrica.

Selama ini ada anggapan bahwa dam sabo hanya menampung sedimen dasar ternyata dari uji laboratorium sampel material dasar dam sabo K. Lumajang disamping menampung sedimen dasar juga menampung sedimen suspensi.

Dari pengukuran debit dan sedimen telah diperoleh debit dan sedimen runtut waktu. Sedimen dasar sebesar 82,6 % dari sedimen suspensi, yang selama ini umumnya hanya diperkirakan sebesar 10 %.

Volume sedimen DAS Lumajang yang masuk ke Waduk Mrica tahun 1989-2004 rata-rata 7600 m<sup>3</sup>/tahun. Membangun dam sabo K. Lumajang mempunyai efektifitas rata-rata sebesar 18 %, khusus untuk tahun 2007/2008 efektifitasnya sebesar 11 %, dan terhadap seluruh volume sedimen yang masuk ke Waduk Mrica hanya 0,034 %, karena luas DAS Lumajang hanya 0,8 % dari luas total DAS Waduk Mrica dan hanya menyokong 0,181% dari total sedimen yang masuk ke Waduk Mrica.

Meskipun telah terjadi beberapa kali banjir, stabilitas bangunan dam sabo masih cukup baik, tidak terjadi kerusakan pada tubuh bendung, sayap, subdam, tidak terjadi degradasi alur dan longsor tebing.

Endapan sedimen yang tertampung di dam sabo K. Lumajang dapat bermanfaat untuk masyarakat setempat. Dari uji kuat tekan dan kuat lentur terhadap material dasar, maka endapan sedimen di kapasitas tampung dam sabo cukup baik untuk membuat batako. Dapat dilakukan penambangan endapan 15 m di hulu dam sabo, dan sekitar 1,0 m dari sisi kanan dan kiri tebing sungai.

## 2 Saran

Berdasarkan Kesimpulan penelitian ini disarankan bahwa, contoh inovasi bangunan dam sabo K. Lumajang yang digunakan pada penelitian ini dapat sebagai salah satu acuan pembangunan dam sabo untuk mengendalikan laju sedimentasi waduk di lokasi lainnya.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada: Bapak Dr. Ir. Arie Setiadi Moerwanto, Msc; dan Bapak Ir. Chandra Hassan, Dipl.HE., Msc atas kepercayaannya kepada kami melaksanakan penelitian ini.

Kepada Bapak: Ir. Agus Sumaryono, Dipl.HE; Drs. Sutikno. HS, Dipl.H; Ir. Suryono Haryadi, SU; Judi, MT; DJangtjik, dan Ibu Rumanti, ST serta teman-teman di Balai Sabo atas dorongan, kritik, saran dan bantuannya, kami sampaikan ucapan terima kasih.

Kepada Bapak Prof. Dr. Hidayat Pawitan, Msc dan Prof (R). Dr. Bambang Sunarto, Dipl.H., M.Eng, kami ucapkan terima kasih atas koreksi dan masukannya terhadap karya tulis ilmiah ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agus Sumaryono, Sutikno, Haryadi Jamal, Suryono Haryadi, Bambang Sukatya, C., Haryanto, 2002. *Tinjauan Umum Pengembangan Sabo di Indonesia*, Pusat Litbang Sumber Daya Air, Bandung.
- Anonim, 2005, *Bendungan Serba Guna Sempor*, Depatemen Pekerjaan umum
- Anonim, 2006. *Sejarah Sabo di Indonesia*, Kegiatan ISDM Project, kerjasama Ditjen SDA dan JICA.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). 1991. *Tata Cara Perencanaan Teknik Bendung Penahan Sedimen*, Revisi SNI, SNI03-2851-1991.

Bambang Djatmiko, 2004, Uji Kualitas Batako dengan Bahan Campuran Pasir Gua Songsong Singosari Malang, *Jurnal Teknologi Kejuruan Vol. 27, NO. 2 Tahun 2004*.

Chandra Hassan dan Oriza, 2006, *Sejarah Sabo di Indonesia*, Balai Sabo, Pusat Litbang Sumber Daya Air

Caughran, G.W., 1976, *Preparation of Rating Curve and Tables for Computation of Streamflow Records*, UNDP, Institute of Hydraulic Engineering Bandung.

Fauzi, B.A., 2006, *Kajian Pengendalian Sedimentasi Waduk PB. Sudirman dengan Teknologi Sabo*, Sekolah Pasca Sarjana UGM.

Hafied A. Gany, A., 2006, *Sumber Daya Air : Misteri, Sejarah, dan Teknologi di Baliknya*, Pusat Litbang Sumber Daya Air.

Pusat Litbang Sumber Daya Air, 2006, *Bangunan Sabo di Indonesia Vol I Gunung Merapi*, Perpustakaan Nasional Republik Indonesia

Soewarno dan Syariman Petrus, 2008, Sedimentation Control : Part II, Intensive Measures the Inside of The Mrica Reservoir, Central Java, *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation, Vol 3, Number 1 January-April 2008*, ISSN 012-2807, International indexing ICV 4.82 (2007).

Soewarno dan Sutikno HS, 2008, Intensive Measures Outside of The Wonogiri Reservoir, Central Java, *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation, Volume 3, Number 1, January-April 2008*, ISSN 012-2807, International indexing ICV 4.82 (2007).

Soewarno dan Bambang Sukatja, 2010, The Use of Dam sabo in The Rivar Channel to Decrease of The Mrica Reservoir Sedimentation in Central Java, Naskah bahan jurnal.

Sukresno, Agung B Supangat, S. Donie dan Paimin, 2007, *Pengelolaan Lingkungan Berbasis DAS Untuk Mitigasi Bencana Lingkungan Di Dataran Tinggi Dieng*, Balai Litbang TPDAS IBB, Badan Litbang Kehutanan, Dep. Kehutanan.

STC, 20 04, *Sabo Plan Management*, Diktat Kursus

Stigter, C., Post, G.R., Keyser, D.J. & Strand, R.I., 1989. *Sedimentation Control of Reservoirs. Guidelines 90. Buletin 67.* Commission Internationale des Grands Barrages (CIGB)-ICOLD. Paris.

WMO, 1980, *Manual on Stream Gauging*, Geneva-Switzerland.

WMO-No.686, 1989, *Manual on Operational Methods for the Measurement of Sediment Transport*, Geneva, Switzerland.

WMO, 2003, *Manual on Sediment Management and Measurement*, Operational Hydrology No. 47 (WMO - No 948), Geneva, Switzerland.