

## TEKNOSABO UNTUK MENGATASI SEDIMENTASI DI DAERAH TANGKAPAN AIR WADUK (KASUS WADUK MRICA)

### *TECHNO SABO FOR OVERCOMING RESERVOIR WATERSHED SEDIMENTATION (CASE RESERVOIR MRICA)*

Ardian Alfianto<sup>1)</sup>, Soewarno<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Calon Peneliti, <sup>2)</sup>Ahli Peneliti Utama Bidang Hidrologi  
Balai Sabo, Puslitbang Sumber Daya Air, Badan Litbang Pekerjaan Umum,  
Sopalan, Maguwoharjo, Depok, Sleman, Yogyakarta, 55282  
E-mail : art.diean@gmail.com

Diterima: 17 Februari 2014 ; Disetujui: 23 mei 2014

#### ABSTRAK

*Data penelitian didapatkan dari tahun 2007–2012, untuk mendapatkan informasi hidrologi akurat yang diperlukan dalam pengelolaan Basis Data Sumber Daya Air Bidang Sabo. Data primer berupa geometri sungai, debit dan angkutan sedimen serta material dasar. Data sekunder terdiri dari inflow debit, sedimen runtut waktu, pemeruman, tata guna lahan, peta topografi, dsb. Metode analisa menggunakan deskriptif analitik. Laju berkurangnya kapasitas waduk berdasarkan analisa data debit dan sedimen tahun 1956–1981 serta data pemeruman waduk tahun 1989-2004, menunjukkan laju sedimentasi 4,19 juta m<sup>3</sup>/tahun. Kapasitas tampung waduk akan penuh endapan pada tahun 2021 atau lebih cepat 19 tahun dari desain. Distribusi sedimentasi 71,63 % terendap di tampungan efektif, sisanya di tampungan non efektif. Volume sedimen suspensi yang masuk Waduk sebesar 2,29 juta m<sup>3</sup> (55 %), serta sedimen dasar 1,90 juta m<sup>3</sup> (45 %). Sumber inflow sedimen waduk Mrica berasal dari Sub.DAS Merawu 55,93 %, Sub.DAS Serayu Hulu 43,87 %, dan Kali Lumajang 0,181 %. Hasil tahun 2010 sabo dam mikro beton di desa Bakal Kecamatan Batur Dataran Tinggi Dieng menunjukkan korelasi positif erosi lumpur dengan hujan. Tahun 2012 sabodam mikro tipe ambang segi tiga menunjukkan laju erosi lahan kentang yang ditanam tegak lurus kontur dengan penutup lahan jerami, lebih kecil dari pada penutup lahan mulsa atau secara alami.*

**Kata kunci** : Sumber daya air, waduk, sedimentasi, teknosabo, sabo dam mikro

#### ABSTRACT

*The data of this study was collected in 2007-2012, to obtain accurate hydrological information required for Sabo Water Resources Database. Primary data consist of river geometry, discharge, sediment transport and base material. Secondary data consists of discharge inflow, time series sediment, echo sounding, land use, topographic maps, and so on. Using descriptive analytic method, rate of reduction in the reservoir capacity based on the discharge and sediment analysis in 1956-1981 and reservoir echo sounding data in 1989-2004, sedimentation rate showed 4,19 million m<sup>3</sup>/year. reservoirs capacities will be full by 2021 or 19 year faster than designed. Sediment distribution 71,63 % accumulate in the effective catchment, rest in non-effective catchment. Volume of suspension sediment entering the reservoir 2,29 million m<sup>3</sup> (55 % ), base sediment 1,90 million m<sup>3</sup> (45%). Mrica reservoir's Inflow sediment source from Merawu sub catchment area 55,93 %, 43,87 % from Serayu sub catchment area, and Lumajang river 0,181 %. Result in 2010, concrete micro sabodam in Bakal, Batur sub-district in Dieng showed a positive correlation between rainfall and mud erosion. In 2012, micro sabodam triangle threshold type indicates soil erosion rate in potatoes field grown perpendicular to contour with straw as land cover smaller than land covered with mulch or natural.*

**Keyword** : Water resources, dams, sedimentation, teknosabo, micro sabo dam

#### PENDAHULUAN

Pengelolaan sumber daya air adalah upaya merencanakan, melaksanakan, memantau, dan mengevaluasi penyelenggaraan konservasi SDA, pendayagunaan SDA, dan pengendalian daya rusak air.

Waduk Mrica terletak di Kecamatan Bawang dan Wanadadi Kabupaten Banjarnegara, mulai dibangun tahun 1983 dan penggenangannya dimulai sejak bulan April 1988, berakhir pada bulan Oktober 1988, mempunyai luas DAS 1022 km<sup>2</sup> atau kurang lebih 32 % dari luas seluruh daerah aliran sungai (DAS) Serayu.

Lokasi DAS Waduk Mrica meliputi dua wilayah administratif yaitu Kabupaten Banjarnegara dan Kabupaten Wonosobo, Propinsi Jawa Tengah. Terletak antara  $109^{\circ} 6' 00''$  -  $110^{\circ} 07' 49''$  BT dan  $7^{\circ} 17' 04''$  -  $7^{\circ} 47' 07''$  LS. Waduk Mrica sangat besar manfaatnya dalam meningkatkan kesejahteraan masyarakat, karena berfungsi membangkitkan tenaga listrik untuk Jaringan Pulau Jawa-Bali serta untuk penyediaan air irigasi Banjar Cahyana sebesar 7 - 11 m<sup>3</sup>/det, di samping untuk usaha perikanan dan pariwisata, serta mengendalikan banjir DAS Serayu hilir di Kabupaten Banyumas dan Cilacap.

Waduk serba guna Mrica dibangun dengan umur layan desain 50 tahun atau akan berakhir fungsinya sekitar tahun 2040. Permasalahan yang timbul dari operasional Waduk Mrica saat ini salah satunya adalah ancaman pendangkalan waduk sehingga kapasitas tampung semakin berkurang. Menurut data dari PT Indonesia Power sebagai Pengelola Waduk Mrica, sedimentasi telah berpengaruh terhadap operasional waduk, setidaknya sampai dengan tahun 2005 atau setelah 16 tahun beroperasi laju pengurangan produksi listrik sebesar 18 %. Apabila proses sedimentasi berjalan terus tanpa pengendalian, maka waduk akan semakin cepat dipenuhi oleh sedimen, sehingga umur layannya tidak sesuai dengan umur layan desain dan manfaat waduk akan semakin berkurang.

Makalah ini bermaksud menyampaikan penelitian hasil litbang tentang penerapan teknosabo dalam upaya mengurangi laju sedimentasi waduk. Tulisan ini bertujuan menyampaikan fakta bahwa teknosabo dibutuhkan dalam upaya mengurangi laju sedimentasi di daerah pegunungan hulu Daerah Tangkapan Air (DTA) waduk. Teknosabo bisa berupa teknik konservasi lahan secara *hard sabo* yaitu pembangunan sabo dam mikro serta *green sabo* yaitu penggunaan vegetasi untuk mengurangi erosi lahan.

## TINJAUAN PUSTAKA

Berbagai permasalahan dalam pengelolaan SDA saat ini, antara lain :

- 1) Perubahan tataguna lahan dalam daerah aliran sungai (DAS) semakin tidak terkendali. Luas hutan semakin berkurang, lahan pertanian telah banyak yang berubah menjadi daerah perluasan pemukiman, perkotaan dan industri. Kerusakan hutan konservasi hingga mencapai 1,6 juta hektar per tahun, menambah kerusakan DAS akibat dari sedimen dan erosi. Sebelum tahun 2000 DAS yang rusak baru sebanyak 39 buah, tetapi pada tahun 2006

sudah tercatat 62 DAS (Hafied 2006), akibatnya, antara lain :

- a kemampuan suatu DAS untuk menyimpan air di musim hujan dan melepaskannya di musim kemarau sebagai *base flow* akan menurun, mengakibatkan keterbatasan dan kekurangan air karena terjadi kekeringan.
  - b Kebanjiran pada musim hujan sudah menjadi fenomena alam yang rutin terjadi setiap tahun. Diperkirakan luas kawasan banjir yang tersebar di seluruh Indonesia sekitar 1,96 juta ha (Kompas, 18 Februari 2004).
- 2) Kapasitas waduk semakin cepat berkurang akibat dari laju sedimentasi waduk yang semakin bertambah. Misal, kapasitas Waduk Mrica berkurang 2,50 %/th, Wonogiri 1,81 %/th, Saguling 1,50 %/th (Soewarno dan Syariman 2008).

Apabila permasalahan tersebut tidak ditangani dengan serius, ke depan akan sangat riskan mengancam kehidupan manusia. Pada dasarnya penerapan teknosabo dalam mengurangi laju sedimentasi waduk dimaksudkan untuk mengendalikan erosi lahan dan angkutan sedimen dengan prinsip mengurangi, menghambat serta mencegah erosi dan sedimen yang masuk waduk dengan cara melaksanakan konsevasi DAS, membangun sabodam sesuai kebutuhan agar umur layan waduk sesuai dengan rencana.

Waduk Mrica dipilih sebagai contoh kasus, karena mempunyai data hidrologi runtut waktu yang lebih lengkap dibanding waduk lain.

## METODOLOGI

Makalah ini disarikan dari hasil penelitian yang berkaitan dengan laju sedimentasi waduk Mrica yang dilakukan selama tahun 2007-2012. Data yang digunakan berupa data sekunder dan data primer. Data sekunder terdiri dari pemeruman waduk runtut waktu, inflow aliran, konsentrasi angkutan sedimen, tata guna lahan dan peta topografi terbitan Bakosurtanal berskala 1 : 25.000, mencakup Lembar Banjar negara sampai Lembar Dieng sebanyak 13 lembar peta yang mencakup luas DAS Waduk Mrica. Wawancara dengan instansi Pengelola Waduk Mrica, Dinas Sumber Daya Air Kabupaten Banjarnegara, serta Bappeda Kabupaten Banjar Negara. Di samping itu juga dikumpulkan data sekunder antara lain : volume penambangan pasir dan pembilasan, konservasi DAS.

Beberapa jenis data primer yang diukur adalah kondisi aliran inflow ke Waduk Mrica berupa data tinggi muka air sungai, debit dan angkutan sedimen inflow waduk, yaitu di Sungai

Lumajang–Lingga Sari, Merawu–Clangap dan K. Serayu-Banjarnegara. Pengukuran debit dilakukan dengan menggunakan alat ukur arus tipe baling-baling dan sedimen di ambil sampelnya dengan menggunakan alat sedimen sampler yang sesuai dengan debit saat pengukuran. Data hasil pengukuran aliran tersebut digunakan untuk analisa lengkung aliran dan lengkung sedimen lokasi pengukuran. Material dasar sungai dan material endapan di dalam waduk digunakan untuk analisa ukuran butir di laboratorium.

Besarnya ancaman pendangkalan waduk ditentukan dengan cara membandingkan umur layan waduk sebelum dan sesudah penganangan. Umur layan waduk sebelum penganangan dilakukan berdasarkan metode inflow-outflow berbasis analisa data inflow dan outflow aliran serta angkutan sedimen. Umur layan waduk setelah penganangan diperkirakan berdasarkan data analisa kapasitas tampung waktu hasil pemeruman runtut waktu. Sumber sedimen ditentukan dengan membandingkan urutan terbesar dari hasil analisa angkutan sedimen runtut waktu untuk DAS Kali Lumajang-Lingasari, Merawu - Clangap dan Serayu - Banjarnegara. Dengan diketahui sumber sedimen maka dapat ditentukan upaya mempertahankan sisa kapasitas tampung waduk.

Geometri alur sungai diukur langsung di lapangan di lokasi rencana sabodam. Prototipe sabodam dibangun di Kali Lumajang. Sabo dam mikro dibangun di Kawasan Dieng dalam upaya mengetahui pengaruh budidaya kentang terhadap laju erosi sebagai salah satu sumber sedimen yang masuk waduk Mrica. Metode analisa deskriptif kualitatif terhadap data sekunder yang mencakup penambangan pasir, pembilasan, konservasi dan rencana pembuatan bangunan sabo.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Perkiraan Laju Sedimentasi Berbasis Data Hidrologi Sebelum Waduk Dibangun

Sebelum dibangun waduk, di Kali Serayu–Mrica, tepatnya di lokasi yang saat ini sebagai bangunan dam Waduk Mrica telah dibangun stasiun hidrometri untuk mendata debit dan angkutan sedimen. Dari stasiun hidrometri tersebut mulai tahun 1956 – 1981 dapat di hitung data volume aliran sebesar 2610 juta m<sup>3</sup>/tahun dan volume sedimen 4,41 juta m<sup>3</sup>/tahun, maka pada kapasitas waduk operasi penuh sebesar 140 juta m<sup>3</sup>, dapat diperkirakan umur layan waduk seperti tertera pada Tabel 1.

Umur layan waduk dinyatakan selesai apabila 20 % dari kapasitas telah terisi endapan (Varshney, R.S.,1974). Dari Tabel 1, maka dapat diperkirakan umur layan waduk akan terisi endapan setelah 38 tahun beroperasi, atau berakhir pada tahun 1989 + 38 tahun = tahun 2027, pada tahun tersebut diproyeksikan 80 % dari total kapasitas Waduk Mrica akan dipenuhi endapan, atau kapasitas waduk tinggal tersisa 20 %. Laju berkurangnya kapasitas Waduk Mrica dapat diperkirakan  $1/38 \text{ tahun} \times 100 = 2,60 \%$  pertahun (Soewarno,1990).

### Perkiraan Laju Sedimentasi Waduk Berbasis Data Pemeruman Selama Waduk Beroperasi

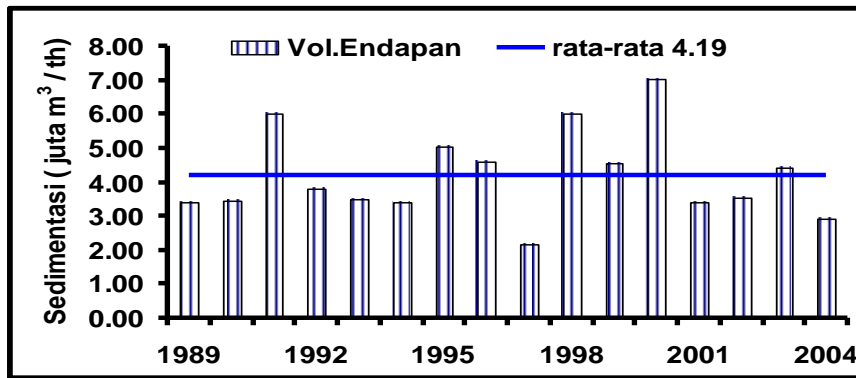
Setelah Waduk Mrica dibangun dan sejak mulai penganangan, maka untuk memantau kapasitas tampung dan umur layan waduk dilakukan pemeruman setiap tahun sekali. Perhitungan umur layan waduk Tabel 1, hanya berbasis data angkutan sedimen yang diperkirakan mengendap di dalam waduk serta inflow aliran yang masuk waduk. Perhitungan tersebut belum memperhitungkan besarnya fenomena lain yang dapat mempercepat laju sedimentasi, misal :

- 1) Limbah sampah, dari rumah tangga, pemukiman, persawahan dan sebagainya.
- 2) Tumbuhnya vegetasi air yang ternyata dari fakta lapangan pada saat penelitian ini berlangsung, vegetasi air seperti enceng

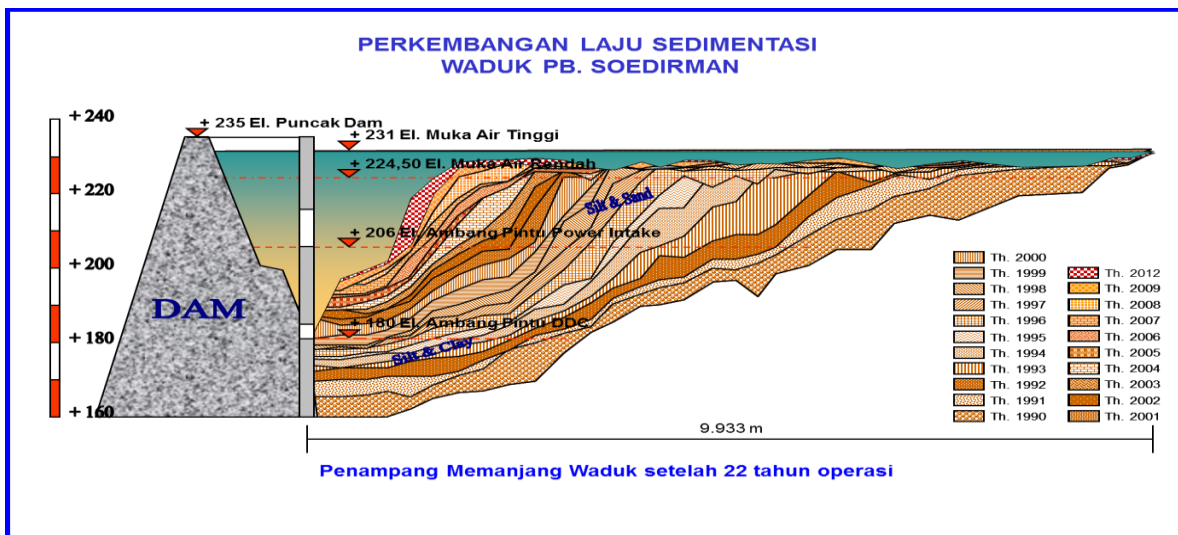
**Tabel 1** Perkiraan umur layan Waduk Mrica berdasarkan data hidrometri 1956 – 1981 (sebelum penganangan)

No	Kapasitas	inflow	(.C/I)	Tangkapan sedimen		sed*eff rata	Vol. bag	lama terisi kol 8/kol7
	(.C)	(I)		Eff *)	eff rata2			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	140,00	2610	0,054	0,79				
2	112,00	2610	0,043	0,75	0,770	3,40	28,00	8,25
3	84,00	2610	0,032	0,70	0,725	3,20	28,00	8,76
4	56,00	2610	0,021	0,62	0,660	2,91	28,00	9,62
5	28,00	2610	0,011	0,45	0,534	2,35	28,00	11,89
							jumlah	38,51

Sumber : Perhitungan , \*) dihitung dengan rumus empiris Brune 1953



Gambar 1 Laju sedimentasi di dalam Waduk Mrica hasil pemeruman 1989 – 2004



Sumber : Laporan Pelaksanaan Penyelidikan Sedimentasi Waduk PLTA Mrica Tahun 2012, Banjarnegara.

Gambar 2 Distribusi memanjang sedimentasi Waduk Mrica

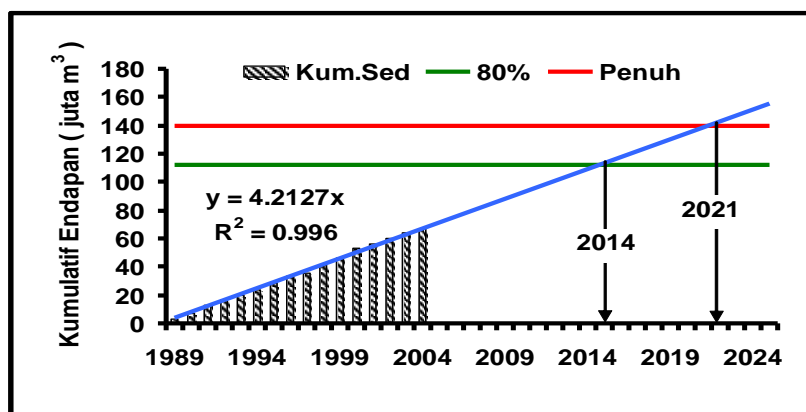
gondok sudah tumbuh berkembang di Waduk Mrica, bahkan pada saat awal musim penghujan tumbuhan enceng gondok tersebar hampir mendekati tubuh bendung. Kondisi itu mengharuskan pihak pengelola waduk membersihkan sebaran enceng gondok baik secara manual ataupun membilas/menghanyutkan melalui *spillway*.

Semua pengaruh fenomena tersebut terhadap sedimentasi dan umur layan waduk hanya diketahui secara total apabila dilakukan perhitungan sedimentasi dan umur layan waduk dengan cara melakukan pemeruman (*sounding*) setiap tahun runtut waktu atau secara berkala. PT Indonesia Power Unit Pembangkit Mrica sebagai pengelola Waduk Mrica secara periodik tahunan mengukur volume sedimen didalam waduk menggunakan metode pemeruman menggunakan alat ukur kedalaman *echosounder*.

Gambar 1 menunjukkan perkembangan data pemeruman runtut waktu setelah penggenangan tahun 1989-2004. Hasilnya

menunjukkan bahwa rata-rata sedimentasi aktual adalah sebesar 4,19 juta m<sup>3</sup>/tahun, atau setara dengan laju erosi DAS Waduk Mrica sebesar 4,13 mm pertahun. Tahun 1997, pengaruh *El Nino* ternyata juga berdampak terhadap laju sedimentasi Waduk Mrica yang menunjukkan nilai terkecil yaitu sebesar 2,17 juta m<sup>3</sup> sedangkan nilai maksimum sebesar 7,02 juta m<sup>3</sup> untuk periode pemeruman November 1999 s/d Oktober 2000, dan volume sedimentasi total dari tahun 1989 – 2004, adalah 67,10 juta m<sup>3</sup>.

Dari Gambar 2, dapat diketahui distribusi memanjang sedimentasi waduk PLTA Mrica. Dari Gambar tersebut terlihat jelas perkembangan distribusi sedimentasi dari mulai penggenangan tahun 1990, sampai tahun 2012. Total volume sedimen waduk Panglima Besar (PB) Soedirman sampai dengan Oktober 2012 adalah 102.071.156 m<sup>3</sup>. Hal ini berarti 68,83 % dari volume waduk sudah terisi sedimen, dengan perincian sebagai berikut : pada volume efektif sebesar 21.231.038 m<sup>3</sup>, di bawah volume efektif sebesar



Gambar 4 Perkiraan sisa umur layan Waduk Mrica

80.840.118 m<sup>3</sup>. Sedangkan volume sedimen tahun 2012 (periode Nopember 2011 s/d Oktober 2012) adalah sebesar 4.141.774 m<sup>3</sup>. Dengan demikian Waduk Mrica mulai dari tahun 1990 sampai dengan tahun 2012 atau setelah beroperasi selama 21 tahun, kapasitas waduk pada elevasi operasi penuh + 231,00 m tinggal tersisa 100%–68,83% = 31,17 %.

Meskipun kapasitas mati (*dead storage*) dirancang menampung sedimen yang mengendap didalam waduk, namun kenyataannya sedimentasi juga terjadi dikapasitas efektif (*live storage*). Distribusi sedimentasi bergantung banyak faktor, di antaranya : operasi waduk, karakteristik lembah, perbandingan debit terhadap kapasitas, angkutan sedimen yang masuk waduk.

Dari Gambar 3, dapat diproyeksikan bahwa pada tahun 2014 kapasitas tampung waduk hanya tersisa 20 %, sedangkan dari perkiraan berdasarkan perhitungan pada Tabel 1, kapasitas tampung masih tersisa 20 % baru tercapai pada tahun 2027, oleh karena itu dengan fakta ini menunjukkan bahwa umur layan waduk lebih pendek tahun 2027–2014 = 13 tahun. Gambar 3, menunjukkan bahwa pada tahun 2021 dapat diketahui 100 % dari kapasitas tampung waduk akan terisi penuh sedimen, sedangkan umur layan desain adalah 50 tahun atau pada tahun 2040 baru akan terisi penuh endapan, oleh karena itu lebih cepat 2040–2021 = 19 tahun dari desain. Dengan fakta aktual yang terjadi di lapangan seperti itu, merupakan ancaman pendangkalan yang sangat serius bagi operasional Waduk Mrica dan harus segera dilakukan upaya mengurangi sedimentasi waduk. Dalam upaya mengurangi laju sedimentasi waduk Mrica maka perlu tindakan, antara lain:

- 1) menentukan DAS sumber sedimen
- 2) mengurangi endapan sedimen dari dalam waduk
- 3) mereduksi sedimen yang masuk waduk

- 4) Ketiga tindakan tersebut bertujuan agar umur layan waduk Mrica diharapkan mendekati umur layan desain, yaitu sampai ± tahun 2040.

#### DAS Sumber Sedimen

DAS waduk Mrica dengan luas 1022 km<sup>2</sup>, terbagi menjadi luas DAS Merawu 27,9 %, DAS Serayu 71,2 % dan DAS Lumajang 0,8 %. DAS Waduk Mrica bertopografi perbukitan dengan kemiringan lereng hingga lebih dari 50% dan curah hujan lebih dari 2500 mm pertahun, jumlah penduduk yang terus bertambah, misal dari 798 jiwa/km<sup>2</sup> pada tahun 1999 menjadi 829 jiwa/km<sup>2</sup> pada tahun 2003. disamping itu cara bertani yang kurang memperdulikan upaya konservasi lahan menjadi faktor penyebab terjadinya erosi. Hasil erosi terangkut menjadi angkutan sedimen dan akhirnya terendap di dalam Waduk. Dari analisa data angkutan sedimen maka dapat dihitung bahwa sumber sedimentasi berasal dari DAS Merawu 3,10 mm/tahun, DAS Serayu 1,20 mm/th dan DAS Lumajang sebesar 0,30 mm/tahun. Dengan memperhatikan besarnya angkutan sedimen tersebut maka laju erosi DAS Merawu dan Serayu sudah melebihi ambang batas yang diperkenankan sebesar 2-3 mm/th.

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 juta m<sup>3</sup> /2,3 juta m<sup>3</sup> x 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).

DAS Merawu merupakan sumber sedimen yang lebih besar dibanding DAS Serayu dan DAS Lumajang. DAS Merawu umumnya mempunyai material batuan yang mudah tererosi baik erosi lahan ataupun erosi tebing dan dasar palung sungai. Dari pengamatan lapangan angkutan sedimen dasarnya nampak bergerak mengalir di sepanjang dasar sungai. Material batuan didominasi oleh ukuran liat halus (*fine clay*) yang oleh penduduk setempat disebut dengan wadas simping sehingga aliran Kali Merawu selalu berwarna putih kelabu (Soewarno, 1990).

Peristiwa alam tanah longsor (*slope failure*) dan tanah runtuh (*rockfall*) sering terjadi di DAS Waduk Mrica, dan kejadian tersebut akan menambah sumber sedimen. Sebagai contoh :

- 1) Informasi diperoleh dari Desa Kabunan Kec. Banjarmangu Kab. Banjarnegara bahwa pada akhir tahun 1999 telah terjadi tanah longsor membendung Kali Merawu (*natural dam*) kurang lebih selama setengah jam. Ketinggian tebing sungai yang longsor lebih dari 100 meter. Karena jumlah sedimen yang runtuh mampu membendung Kali Merawu, berarti volume sedimen longsor relatif besar. Sedimen pembendung tersebut akhirnya jebol dan selanjutnya terbawa aliran sungai ke hilir masuk ke Waduk Mrica.
- 2) Tanah longsor yang terjadi di awal tahun 2006 di Desa Sijeruk, dengan volume sekitar 550.000 m<sup>3</sup> serta korban jiwa lebih dari 50 orang.
- 3) Banjir lumpur 18 Desember 2011, Minggu pukul 13.30, akibat longornya Gunung Pakuwojo karena hujan lebat, menyebabkan Dusun Sidorejo, Desa Sitieng, Kecamatan Kejajar luluh lantak, korban hilang hanyut banjir lumpur sebanyak 10 orang, 11 orang luka luka, 627 jiwa diungsikan (*Pikiran Rakyat*, 19 Desember 2011).

### Mengurangi Endapan Sedimen Dari Dalam Waduk Mrica

Berdasarkan analisa data sampel material dasar, diperoleh bahwa distribusi ukuran butir Waduk Mrica dari Dam waduk Mrica ke arah hulu, maka material sedimen yang dominan adalah :

- 1) Tanah liat atau debu dengan gradasi sampai 0,005 mm berada di daerah intake sampai jarak 1,10 ke arah hulu
- 2) Lumpur atau lanau dengan gradasi 0,005 – 0,05 mm berada pada jarak 1,3 – 2,5 km ke arah hulu
- 3) Pasir halus – pasir kasar dengan gradasi 0,05 – 2,0 mm berada pada jarak 2,5 – 9,0 ke arah hulu

- 4) Kerikil halus sampai kerikil kasar pada jarak 9,0 - 9,2 km ke arah hulu
- 5) Batu koral/kerakal berada lebih dari 10 km ke arah hulu sampai pertemuan antara Kali Serayu dan Kali Merawu.

Berdasarkan data tersebut maka cara mengurangi sedimen dari dalam waduk harus disesuaikan dengan jarak lokasi dan ukuran butir endapan, antara lain dapat dilakukan dengan cara pembilasan, penambangan pasir, pengerukan dan pembuatan sudetan.

### Pembilasan sedimen dari dalam waduk

Salah satu upaya yang telah dilakukan oleh Pengelola Waduk Mrica untuk mempertahankan sisa kapasitas tampung waduk adalah dengan melakukan pembilasan (*flushing*). Bila outlet saluran pembilas (*drawdown culvert*) dibuka, permukaan genangan waduk akan turun. Konsekuensinya, aliran dari dalam waduk akan menguras timbunan sedimen, terutama pada jarak 0 – 2,5 km dari dam.

Dari distribusi sedimen Gambar 2, menunjukkan sedimentasi di depan intake saluran pembilas Waduk Mrica sudah mencapai elevasi dasar saluran pintu, sekitar elevasi + 190,0 m. Pembilasan terutama untuk menguras sedimentasi di daerah *power intake*. Untuk mencegah sedimentasi menyumbat *power intake*, maka pintu saluran pembilas harus dibuka sesering mungkin, dengan tanpa mengurangi produksi listrik. Dari volume sedimen yang terbilas maka akan memberi tambahan umur layan waduk.

Pembilasan secara berkala sudah dimulai sejak 15 Februari 1996 sampai dengan 15 Februari 2004 hanya sebesar 0,73 juta m<sup>3</sup>, suatu besaran yang kecil sekali atau hanya sekitar 2,1 % jika dibanding dengan volume sedimen yang mengendap pada tahun 1996 – 2004 sebesar 34,7 juta m<sup>3</sup>.

Apabila volume pembilasan ditingkatkan maka dampaknya adalah mempercepat pendangkalan alur Sungai Serayu di Hilir Waduk Mrica dan akan menyebabkan banjir di hilir alur Sungai Serayu terutama di daerah Banyumas sampai Cilacap yang memang sudah merupakan daerah rawan bencana banjir.

### Penambangan endapan pasir dari dalam waduk

Inflow sedimen ke Waduk Mrica ternyata banyak membawa endapan pasir sehingga hal itu menjadi daya tarik masyarakat di sekeliling waduk untuk menambang. Penambangan pasir tersebut terjadi sebagai salah satu akibat dari pendangkalan.

Penambangan pasir dari dalam Waduk Mrica yang diusahakan oleh swadaya masyarakat antara lain : di desa Pucang, Semampir, Wangon dan Jenggawur pada jarak sekitar 5 - 10 km dari dam. Informasi yang diperoleh dari lapangan tahun 2006 sebanyak kurang lebih 100 truk setiap hari mengangkut hasil penambangan sedimen dari Waduk Mrica. Karena merupakan swadaya masyarakat maka belum tercatat dengan benar berapa volume penambangan yang sebenarnya. Tidak hanya pasir yang berkualitas bagus yang dimanfaatkan tetapi juga pasir untuk keperluan timbunan. Volume penambangan yang tercatat untuk tahun 2004 sebesar 0,30 juta m<sup>3</sup> atau sekitar 7,7 % dari inflow sedimen. Kegiatan penambangan tersebut diharapkan dapat sebagai alternatif pengerukan sedimen yang berasal dari swadaya masyarakat dan manfaatnya dapat memperlama umur layan waduk. Campur tangan pengelola waduk dan pemerintah terutama untuk fasilitas jalan, pemasaran, serta pemberdayaan masyarakat agar tidak merusak lingkungan.

#### **Pengerukan endapan dari dalam waduk**

Upaya lain yang dapat dilakukan untuk mempertahankan sisa kapasitas tampung dengan mengurangi sedimen dari dalam waduk adalah dengan melakukan pengerukan. Pengerukan mulai dari dam sampai sekitar 9 km ke arah hulu dam. Pengerukan merupakan upaya memindahkan endapan dari dalam waduk, umumnya untuk waduk kecil sampai sedang seperti yang telah dilakukan Waduk Sengguruh di Jawa Timur.

Sampai dengan tahun 2006, pengelola Waduk Mrica belum melakukan pengerukan endapan dari dalam waduk. Dari pengamatan lapangan jika dilakukan pengerukan lokasi yang dapat digunakan untuk *spoil bank* di sekitar Waduk Mrica amat sangat terbatas. Di sisi kanan - kiri Waduk Mrica merupakan daerah persawahan yang subur, pemukiman padat dan perkotaan. Perlu dikaji lokasi yang pada saat pembangunan Waduk Mrica lahannya digali untuk diambil batu sebagai pembangunan tubuh bendung dan tanggul, barangkali kemungkinan dapat digunakan sebagai tempat buangan material hasil kerukan.

Inflow sedimen rata - rata 4,20 juta m<sup>3</sup>/tahun, rata - rata 12 ribu m<sup>3</sup>/hari (dibulatkan) setara dengan penyediaan *dumpttruck* sebanyak 3000 buah/hari. Tentu hal itu perlu penyediaan biaya yang cukup besar. Meskipun pengerukan mempunyai dampak langsung pada pengurangan endapan di dalam waduk namun bila tidak kontinyu hanya berakibat sesaat karena inflow sedimen akan terus terjadi.

Pengerukan dapat menyebabkan masalah lingkungan seperti yang terjadi di Waduk

Sengguruh, meskipun endapan hasil galian dapat dimanfaatkan untuk lahan pertanian. Apabila pengerukan dilaksanakan terhadap Waduk Mrica maka perlu penelitian yang detail, terutama dalam hal penyediaan lokasi *spoil bank*, pemanfaatan endapan galian hasil kerukan, biaya pengerukan, dsb.

#### **Sudetan aliran sedimen ke luar Waduk**

Alternatif lain adalah membuang endapan dengan cara mengalirkan sedimen dari dalam Waduk Mrica menuju ke arah Kali Pekacangan di sebelah kanan waduk.

Diperlukan bangunan di dalam waduk untuk mengarahkan aliran dari palung sungai Serayu di dalam Waduk ke tepi kanan waduk menuju lokasi di dekat bangunan pelimpah banjir peluang maksimum (PMF) di Wonodadi. Untuk lokasi sudetan pembuangan sedimen ini perlu penelitian yang lebih khusus melibatkan berbagai disiplin ilmu pengetahuan.

Gambar 4, menunjukkan sketsa arah sudetan dari Waduk Mrica menuju ke arah Kali Pekacangan dengan jarak sekitar 1,0 km. Namun karena sudetan ini akan mengubah struktur tubuh waduk dan tanggul serta bangunan pelimpah banjir PMF maka tidak disarankan untuk dilaksanakan jika tanpa penelitian yang terpadu dari berbagai bidang penelitian.

#### **Mereduksi Sedimen yang Masuk Waduk**

Mereduksi sedimentasi yang masuk waduk antara lain dapat dilakukan dengan membangun waduk - waduk kecil di bagian hulu DAS Waduk Mrica, membangun sabodam dan dengan cara konservasi lahan DAS sumber sedimen.

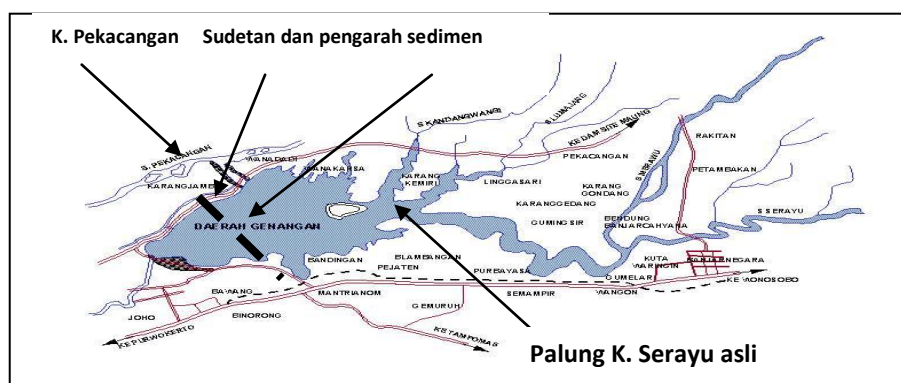
#### **Membangun waduk kecil**

Pembangunan waduk - waduk kecil dapat dilakukan penelitian di DAS waduk Mrica Bagian Hulu terutama di daerah Karang kobar dan di Dataran Tinggi Dieng. Rencana pembangunan waduk di DAS Merawu tepatnya di Maung terkendala oleh kondisi struktur geologi yang tidak memungkinkan karena merupakan daerah patahan. Padahal jika waduk Maung dibangun dapat mereduksi laju sedimentasi Waduk Mrica sebesar 20 % (Soewarno,1990).

#### **Membangun sabodam di alur sungai**

Penanganan sedimentasi di hulu Waduk Mrica pada prinsipnya adalah mencegah terbawanya lapisan tanah karena erosi dengan menggunakan teknik konservasi lahan. Namun secara alami hasil erosi tersebut sebagian akan mengalir terbawa aliran permukaan masuk ke





Gambar 4 Sketsa lokasi usulan sudetan Waduk Mrica ke arah Kali Pekacangan

Tabel 2 Kapasitas tampung di rencana lokasi sabodam

No	Sub. DAS	Jumlah rencana sabodam	Kapasitas tampung (m <sup>3</sup> )	Kapasitas terhadap jumlah (%)
1	Merawu	16	7.285.636, 73	72,14
2	Tulis	10	309.764, 53	3,07
3	Bleber	1	89.820, 36	0,89
4	Songgoluang	4	359.222, 99	3,56
5	Preng	1	37.425, 15	0,37
6	Serayu Hulu	9	950.044, 75	9,41
7	Begaluh	6	1.067.425, 14	10,57
	Jumlah	47	10.099.339, 65	100,00

palung sungai. Hasil erosi yang masuk ke alur sungai DAS Merawu, Serayu dan Lumajang menjadi angkutan sedimen.

Sesuai dengan kriteria pemilihan lokasi bangunan sabo, maka Tim Peneliti Balai Sabo telah membuat sebuah Peta Jaringan Lokasi Rencana bangunan sabo di DAS Waduk Mrica. Rencana ini mencakup 47 lokasi yang tersebar di DAS Waduk Mrica. Tabel 2, menunjukkan rencana sabodam DAS Waduk Mrica yang diusulkan, dengan kapasitas total 10,09 juta m<sup>3</sup>. (Soewarno, Bambang Sukatja, 2010).

Sedimen yang mengendap di waduk rata – rata 4,20 juta m<sup>3</sup>/tahun, terdiri dari angkutan sedimen suspensi (*suspended load*) sebesar 2,30 juta m<sup>3</sup>/tahun (54,8 %), dan angkutan sedimen dasar (*bed load*) sebesar 1,90 juta m<sup>3</sup>/tahun (45.2%). Luas DAS rencana bangunan sabo = 709,14 km<sup>2</sup> atau 69,38 % dari luas DAS Waduk Mrica maka dapat diperkirakan volume kegiatan penambangan galian C yang berasal dari angkutan sedimen dasar adalah 69,38 x 1,90 juta m<sup>3</sup>/tahun = 1,32 juta m<sup>3</sup>/tahun.

Apabila penambangan galian C sebesar 1,32 juta m<sup>3</sup>/tahun tersebut disetarakan dengan kegiatan penambangan galian C untuk 50 truk perhari dengan kapasitas 4 m<sup>3</sup>/truk, yaitu sebesar 1,30 juta m<sup>3</sup>/tahun.

Dalam prakteknya penambangan galian C tidak harus dilakukan di lokasi sabodam tetapi dapat lainnya di DAS Waduk Mrica. Apabila penambangan galian C dapat dilakukan sebesar 1,30 juta m<sup>3</sup>/tahun maka berarti angkutan sedimen yang masuk ke waduk PLTA Mrica adalah sebesar 4,20 juta m<sup>3</sup>/tahun - 1,30 juta m<sup>3</sup>/tahun = 2,90 juta m<sup>3</sup>/tahun. Dengan fakta kalau debit aliran yang masuk waduk sebesar 2715 juta m<sup>3</sup>/tahun (rata rata tahun 1955-2004), sedimen masuk waduk sebesar 2,90 juta m<sup>3</sup>/tahun, sisa kapasitas waduk pada tahun 2008 sebesar 56,00 juta m<sup>3</sup>/tahun serta volume 20 % bagian sisa penampang : 11,20 juta m<sup>3</sup>/tahun. Berdasarkan fakta itu maka dapat diperkirakan sisa umur layan Waduk PLTA Mrica dapat dihitung seperti tertera pada Tabel 3.



**Tabel 3** Pengaruh penambangan galian C sebesar 1,30 juta m<sup>3</sup>/tahun terhadap sisa umur layan Waduk PLTA Mrica terhitung mulai tahun 2008

No	Kapasitas (C)	inflow (I)	(C/I)	Tangkapan sedimen		sed*eff rata	Vol. bag	lama terisi (tahun)
				eff	eff rata			
1	2	3	4	5	6	7	8	9=8/7
1	56,00	2715	0,021	0,79				
2	44,80	2715	0,017	0,75	0,770	2,23	11,20	5,02
3	33,60	2715	0,012	0,70	0,725	2,10	11,20	5,33
4	22,40	2715	0,008	0,62	0,660	1,91	11,20	5,85
5	11,20	2715	0,004	0,45	0,534	1,55	11,20	7,23
							jumlah	23,43

**Gambar 5a** Pembangunan prototipe sabodam K. Lumajang di Linggasari DAS Waduk Mrica**Gambar 5b** Prototipe sabodam K. Lumajang di Linggasari DAS Waduk Mrica. (Dok. Soewarno, 2010)

Dari Tabel 3, maka dapat diketahui bahwa pengaruh penambangan galian C sebesar 1,30 juta m<sup>3</sup>/tahun terhadap umur layan Waduk PLTA Mrica akan berakhir setelah 23 tahun kedepan terhitung mulai tahun 2008 atau sampai tahun 2031. Apabila sabodam tersebut dibangun dan jika dilakukan penambangan galian C sebesar 1,30 juta m<sup>3</sup>/tahun maka umur layan Waduk Mrica menurut kondisi laju sedimentasi saat ini 4,20 juta m<sup>3</sup>/tahun dan akan berakhir tahun 2021, akan bertambah 10 tahun, sehingga diharapkan akan dapat berakhir tahun 2031. Volume galian C tersebut adalah sekitar 70 % total sedimen dasar, 30 % sisanya untuk menjaga keseimbangan aliran sedimen agar tidak terjadi degradasi alur dan erosi tebing sungai.

#### Inovasi Prototipe sabodam tipe tertutup

Balai Sabo tahun 2007 telah mengembangkan inovasi struktur prototipe sabodam tipe tertutup di DAS Waduk Mrica tepatnya di Kali Lumajang, seperti ditunjukkan pada Gambar 5a dan Gambar 5b.

Stabilitas bangunan sabodam ditentukan dengan cara mengamati secara langsung kondisi

bedung 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 krikil 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.

Banjir maksimum tahun 2007/2008 adalah 35,2 m<sup>3</sup>/s atau sekitar 85 % dari banjir maksimum yang pernah terjadi yaitu 41 m<sup>3</sup>/s pada tahun 1998. Kurang dari 5 % dalam waktu setahun terjadi debit banjir antara 10 – 30 m<sup>3</sup>/s. Dari pengamatan dilapangan, ternyata meskipun terjadi beberapa kali banjir, prototipe sabodam tidak mengalami kerusakan, tidak ada tanda-tanda kerusakan struktur bangunan, serta tidak terjadi longoran tebing, juga tidak terjadi degradasi alur sungai di hilir sabo dam. Di bagian hilir main dam

dibuat kolam olakan sebagai pematah energi aliran, dan dibagian paling hilir ditutup dengan sub dam, sehingga tidak menyebabkan degradasi di hilir dam sabo dan tidak menyebabkan erosi atau longsornya tebing alur sungai. Dengan demikian dam sabo K.Lumajang sampai akhir tahun 2012 adalah bangunan dam sabo yang stabil.

Musim hujan 2007/2008 prototipe sabodam 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>. Volume sedimen rata-rata DAS Lumajang yang masuk ke Waduk Mrica 7600 m<sup>3</sup>/th, maka sabodam K.Lumajang mempunyai efektifitas rata-rata sebesar 18 %. Volume sedimen total yang masuk ke Waduk Mrica dari DAS Serayu, Merawu, dan Lumajang 4,20 juta m<sup>3</sup>/tahun maka efektifitas prototipe sabodam hanya 0,034 %, hal itu karena luas DAS Lumajang hanya 0,8 % dari luas DAS Waduk Mrica.

Stabilitas prototipe sabodam masih cukup baik, tidak terjadi kerusakan pada tubuh dam, sayap, subdam, tidak terjadi degradasi alur dan longsoran tebing. Contoh inovasi prototipe bangunan sabodam K. Lumajang ini dapat digunakan sebagai acuan pembangunan sabodam untuk mengendalikan laju sedimentasi waduk di lokasi lainnya (*Soewarno dan Bambang Sukatja, 2010*).

Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Bambang Jatmiko (2004) menyatakan bahwa standar kuat tekan batako adalah 26,724 kg/cm<sup>2</sup> (*Bambang Jatmiko, 2004*). Dari hasil uji kadar air, berat jenis dan analisa ayakan, endapan material berupa pasir dapat digunakan sebagai bahan bangunan. Gradasi material endapan berupa gradasi menerus, jika digunakan dalam beton normal akan menghasilkan kuat tekan 15MPa – 40MPa. Berdasarkan uji kuat tekan dengan perbandingan 1 : 14 menghasilkan kuat tekan 59,81 kg/cm<sup>2</sup> (5,86 MPa). Oleh karena hasil uji tersebut lebih dari 26,724 kg/cm<sup>2</sup> maka endapan sedimen di sabo dam K. Lumajang memenuhi syarat untuk digunakan membuat batako (*Soewarno dan Bambang Sukatja, 2010*).

### Konservasi lahan

Teknik konservasi lahan antara lain berupa penghutanan kembali (*reforestation*), penghijauan (*reboisasi*) dan pembuatan teras sejajar kontur pada lahan pertanian (*terasering*). Lahan dengan kelerengan >45% semestinya tetap dipertahankan sebagai kawasan lindung (hutan) dan lahan dengan kemiringan <45% bisa dimanfaatkan sebagai lahan pertanian tanaman semusim pada terasering.

Dari analisa data tata guna lahan diperoleh fakta bahwa luas lahan kering mencapai lebih dari 60 %, sedangkan luas hutan hanya mencapai 15 %. Hal ini menunjukkan bahwa luas hutan yang ada masih di bawah luas hutan minimum sebagaimana yang dikehendaki dalam Undang-Undang Pokok Kehutanan yaitu 30 % dari luas Wilayah. Perambahan hutan berlangsung cepat, hingga daerah pegunungan di hulu DAS Waduk Mrica sebagian besar hutan telah berubah menjadi lahan kering. Pola tanam yang salah dapat mempunyai andil yang cukup besar terhadap kerusakan lingkungan akibat erosi. Dari pengamatan lapangan di DAS Waduk Mrica telah dialih fungsi dari areal hutan menjadi lahan pertanian.

Menurut data dari Bappeda Kabupaten Banjarnegara yang tertuang pada Neraca Sumber Daya Alam Spasial Daerah tahun 2003, diperoleh fakta bahwa di kawasan hutan lindung masih dijumpai penggunaan lahan untuk budidaya, sementara untuk melarang kegiatan tersebut mengalami kesulitan karena lahan tersebut telah dimiliki oleh perorangan. Batas – batas kawasan hutan belum jelas menimbulkan kerancuan pemilikan. Penanganan erosi lahan diaplikasikan dalam bentuk penanaman pohon penghijauan dan pembuatan teras yang diprioritaskan pada lereng-lereng terjal. Hal tersebut dimaksudkan agar tanah tidak mudah erosi dan longsor. Pepohonan konservasi telah banyak ditanam di lokasi penelitian antara lain pohon Pinus, Suren dan Albasia sebagaimana yang telah dilakukan oleh Dinas Kehutanan dan Perkebunan Kabupaten Banjarnegara.

Akan tetapi hingga saat ini pepohonan tersebut belum berhasil ditanam pada lahan tanaman semusim, karena petani tidak menghendakinya. Perbukitan di daerah hulu menjadi gundul tanpa pepohonan konservasi dan semakin tahun semakin bertambah luas, sebagai contoh data dari Pemda Kab. Banjarnegara, pengurangan luas hutan mencapai 115 Ha, dari tahun 1998 – 2003.

Karena kegiatan konservasi lahan DAS Waduk Mrica berhubungan langsung dengan petani sebagai pemilik lahan, maka upaya mendesak (*urgent*) yang harus dilakukan antara lain :

- 1) Mengubah pola pikir petani agar selalu mendukung upaya konservasi, misal salah satunya adalah dengan membuat teras bangku, serta melaksanakan penghijauan.
- 2) Mengganti tanaman kentang, sayuran semusim terutama pada kemiringan lebih dari 45 derajat dengan tanaman perkebunan yang harga jualnya tinggi

- 3) Mengajak petani melihat secara langsung lahan lereng pegunungan gundul yang lapisan tanahnya telah habis akibat erosi dan hanya tersisa lapisan batuan, misal di DAS Waduk Wonogiri agar mereka melihat secara langsung wilayah yang lapisan tanahnya telah habis tererosi dan tidak produktif lagi serta memerlukan waktu yang lama untuk membentuk lapisan tanah baru.

Dari uraian tersebut nampak bahwa upaya konservasi untuk mengurangi laju berkurangnya kapasitas tampung Waduk Mrica belum berhasil seperti yang diharapkan.

### **Mengembangkan Teknosabo DAS Lumajang dan Di Dataran Tinggi Dieng**

Dataran Tinggi Dieng dengan luas kurang lebih 22.500 ha dan terletak pada ketinggian lebih dari 2.000 m dml, merupakan hulu dari beberapa DAS di Kabupaten Banjarnegara, Wonosobo, Temanggung, Kendal, Batang, dan Pekalongan. Dieng dahulu dikenal sebagai tempat wisata budaya dan panorama alam. Namun sejak berkembangnya usaha tani sayuran kentang tahun 1979 telah mengubah kondisi lingkungan vegetasi, tanah, air, dan udara di kawasan Dieng dan telah berdampak pada umur layan Waduk Mrica.

Menurut Pemda Kab. Banjarnegara laju sedimentasi tidak lepas dari budidaya komoditi kentang oleh petani setempat. Dari pengamatan lapangan budi daya tanaman kentang dan tanaman musiman lainnya yang saat ini sedang dilakukan oleh petani di DTA Waduk Mrica, terutama di daerah Dieng dan Karangkoobar. Budidaya tersebut dilakukan sampai pada lokasi lereng-lereng bukit. Daerah rawan banjir, longsor, dan pengundulan hutan terus meluas. Hal itu berpotensi menimbulkan bencana alam. Pada lahan pertanian kentang pada lereng lebih dari  $45^{\circ}$  hampir tidak terdapat pepohonan berada di dekat tanamannya. Demikian pula dengan pupuk yang digunakan di lahan pertanian tersebut berupa campuran tanah dan pupuk kandang yang dihamparkan pada lahan yang akan ditanami kentang merupakan sumber sedimen yang sangat potensial, contoh Gambar 6a dan Gambar 6b.

Pengalaman di DAS Bengawan Solo, penterasan lahan umumnya merupakan *mascot* dalam teknologi pengelolaan DAS yang dilaksanakan melalui program bantuan penghijauan. Permasalahan dalam aplikasi teknologi ini antara lain bahwa pemeliharaan teras merosot drastis setelah proyek selesai. Pemeliharaan teras secara terus menerus tanpa subsidi setelah proyek berakhir tidak terpenuhi karena berada di luar kemampuan petani.

Sistem terasering yang diterapkan oleh sebagian besar petani di Dieng juga belum sesuai dengan kaidah konservasi. Untuk tanaman semusim (sayuran) petani lebih menyukai terasering dengan pola tanam searah lereng (tegak lurus kontur). Alasan petani menggunakan terasering pola aliran searah lereng adalah: 1) produksi sayuran tidak busuk karena tidak terjadi penggenangan air, 2) bidang penanaman lebih lebar karena bidang tanamnya miring, 3) lebih memudahkan untuk menaburkan pupuk dan penyiraman.

Pemkab Banjarnegara sudah melakukan berbagai upaya antara lain penghijauan/reboisasi, pengelolaan dataran tinggi Dieng bekerja sama dengan Kabupaten Wonosobo, dan pembudidayaan strawberry sebagai tanaman alternatif pengganti kentang. Namun, hasilnya belum sesuai dengan yang diharapkan.

Oleh karena itu, perlu mengembangkan teknosabo dalam pengelolaan SDA Dataran Tinggi Dieng tahun 2010-2012.



**Gambar 6a** Tanaman kentang di lahan miring di Dieng (Dok. Soewarno, 2010)



**Gambar 6b** Jalan ke Telaga Merdada Dieng menjadi alur sungai berlumpur saat hujan (Dok. Soewarno, 2010)



Penelitian ini bermaksud menerapkan teknosabo untuk pengelolaan SDA di dataran tinggi Dieng, dengan tujuan agar pengelolaan sumber daya air lebih optimal dan berdayaguna khususnya dalam upaya konservasi SDA serta mereduksi daya rusak air. Hasil yang dicapai antara lain adalah :

- 1) Peta erosi dan peta sebaran sabodam Dataran Tinggi Dieng
- 2) Angkutan sedimen dari berbagai perlakuan lahan tamanan kentang yang terukur di sabodam mikro
- 3) Hubungan matematis curah hujan-debit-angkutan sedimen yang terukur di sabodam mikro berbagai perlakuan lahan tamanan kentang

Pengukuran debit dan angkutan sedimen suspensi dan sedimen dasar di lahan tanaman kentang dilakukan dengan membuat sabodam mikro tahun 2010 dan tahun 2011.

Sabodam mikro adalah sebuah ambang (weir) alat ukur debit saluran irigasi yang dimodifikasi sebagai alat ukur debit dan alat tangkap sedimen suspensi sekaligus sebagai alat mengendapkan sedimen dasar. Sabodam mikro yang digunakan dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:

- 1) Sabodam mikro konstruksi beton ambang segi empat
- 2) Sabodam mikro konstruksi besi pelat sudut  $90^{\circ}$  (tipe Thompson)

Sabodam mikro konstruksi beton ambang segi empat alur intermiten lahan kentang yang lebarnya sekitar 1,0 m dengan luas lahan kentang

kurang dari 1,0 Ha, dibangun di Bakal Kecamatan Batur di Dataran Tinggi Dieng, seperti ditunjukkan pada Gambar 9a dan Gambar 9b, sedangkan yang di alur intermiten lebar sekitar 1,0 m dengan luas DAS 2,15 Ha berupa lahan pemukiman dibangun di Desa Sigeblok Kecamatan Banjarmangu ditunjukkan pada pada Gambar 10a.

Sabodam mikro konstruksi beton dimaksudkan untuk mengukur volume aliran permukaan dan sedimen saat terjadi hujan (Gambar 10a), hasilnya menunjukkan korelasi positif antara erosi berupa lumpur dengan hujan (Gambar 10b). Sabodam mikro di Bakal menampung volume lumpur hasil erosi antara 2,74 - 5,14  $m^3$ /hari, selama terjadi hujan pada volume 64 - 352  $m^3$ /hari. Di Sigeblok volume lumpur antara 0,006  $m^3$ /hari - 0,147  $m^3$ /hari pada volume hujan 21 - 1860  $m^3$ /hari. Ternyata laju erosi lahan pemukiman lebih rendah dibanding lahan kentang.

Di dalam DAS sabodam mikro alur intermiten desa Bakal telah dibuat sebanyak 12 buah sabodam mikro tipe Thompson sudut  $90^{\circ}$  yang dibuat tahun 2011 di lahan kentang, dengan berdasarkan tiga macam perlakuan yaitu lahan kentang ditutup mulsa, jerami dan dibiarkan alami. Dari pengamatan lapangan, wawancara dengan penduduk dan data yang terukur, terdapat indikasi bahwa erosi yang paling banyak terjadi pada lahan dengan perilaku tutupan mulsa plastik (Gambar 11a), diikuti lahan dengan perlakuan alami (Gambar 11b), dan yang paling kecil erosinya adalah lahan dengan tutupan mulsa jerami.



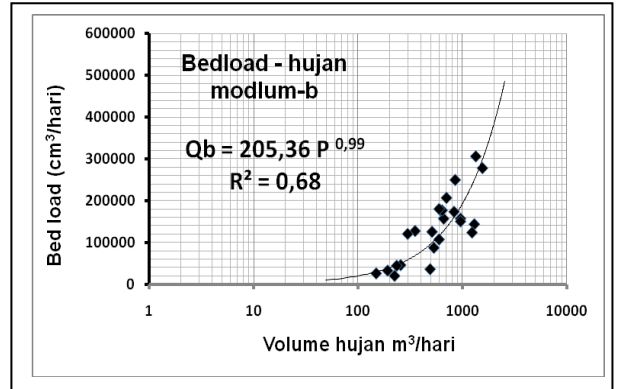
**Gambar 9a** Sabodam mikro tipe konstruksi beton di desa Bakal Dieng (Dok. Soewarno, 2010)



**Gambar 9b** Sabodam mikro tipe konstruksi beton di desa Bakal Dieng (Dok. Soewarno, 2010)



**Gambar 10a** Aliran sabodam mikro tipe kontruksi beton di desa Sigeblok DAS Lumajang (Dok. Soewarno, 2010)



**Gambar 10b** Hubungan volume aliran dan lumpur sedimen sabodam mikro tipe kontruksi beton di desa Sigeblok DAS Lumajang (Soewarno, dkk,2011)



**Gambar 11a** Lahan kentang searah lereng tertutup mulsa plastik di desa Bakal Dieng dengan sabo dam mikro tipe Thomson. (Dokumentasi Ardian, 2011)



**Gambar 11b** Lahan kentang searah lereng tanpa tutupan di desa Bakal Dieng dengan sabo dam mikro tipe Thomson (Dokumentasi Ardian, 2011)



**Gambar 12a** Tanaman kentang di Desa Bakal dengan guludan sejajar kontur (dok Soewarno, 2012)



**Gambar 12b** Tanaman kentang di Desa Bakal dengan guludan sejajar kontur (dok Soewarno, 2012)

Pembuatan 12 sabodam mikro tipe Thomson tersebut semula dimaksudkan untuk membuat model matematik yang dapat modifikasi Rumus USLE untuk menghitung laju erosi khusus lahan kentang. Namun hasil pengukuran lumpur

dan hujan serta karakteristik lahan kentang setiap perlakuan belum bisa dibuat model matematiknya dengan signifikan. Hal itu disebabkan karena :



- 1) Data volume lumpur dan curah hujan karena tercatat secara manual banyak yang meragukan,
- 2) Laju erosi yang cukup besar menyebabkan lumpur yang tertampung di dalam bak penampung setiap terjadi hujan cukup besar volumenya, namun tidak sehabis terjadi hujan dikuras oleh pengamat sehingga yang tertampung adalah nilai kumulatif yang sulit untuk dipisahkan berdasarkan kejadian hujan
- 3) Luas tanam, kemiringan lereng, kepadatan tanah dan unsur lainnya yang dianggap berpengaruh terhadap erosi lahan untuk setiap perlakuan lahan datanya dapat selalu berubah karena perlakuan pemeliharaan guludan kentang selalu mengubah arah aliran permukaan saat terjadi hujan dan mengubah luas DAS
- 4) Data pengukuran menggunakan sabo dam mikro tidak lengkap karena sabodam mikro yang dibuat tahun 2011 pada tahun 2012 sebagian besar telah rusak karena faktor usia dan cuaca yang dingin serta karena terpengaruh saat pengolahan lahan dan panen kentang,

Untuk meningkatkan kualitas data diperlukan pengukuran berbasis alat yang bekerja otomatis, tidak manual seperti pada penelitian ini serta setiap perlakuan lahan kentang harus dibuat batas DAS yang pasti.

Namun disini lain setelah petani desa Bakal melihat lumpur yang tertampung di sabodam mikro maka telah dapat menggugah pola pikir ke arah konservasi. Hal ini tercermin dari jawaban - jawaban kuesioner dan wawancara sebanyak 30 petani lahan kentang tahun 2012, yang dapat disimpulkan beberapa hal penting yaitu :

- 1) Mereka mendesak pemerintah memberi solusi upaya cara bertani dan macam tanaman apa yg

bisa mereka pakai agar bisa tetap bertani namun tidak merusak lingkungan,

- 2) Petani di Dieng sudah semakin sadar bahwa mereka ingin kelestarian Dieng,
- 3) Mereka butuh peningkatan ekonomi, karena lahan sudah semakin berkurang tingkat kesuburannya dari tahun ke tahun,
- 4) Mereka mengetahui program penghijauan dan butuh bimbingan pemerintah serta contoh konservasi lahan, termasuk pemasaran hasil tanamannya.

Selanjutnya suatu hal yang juga sangat menggembirakan adalah sebagian petani Desa Bakal tanpa diminta oleh tim peneliti telah mengubah cara bertanam kentang dengan guludan yang semula searah kemiringan lereng telah mengubah menurut garis kontur (dari Gambar 11a dan Gambar 11b menjadi Gambar 12a dan Gambar 12b).

Menurut informasi petani yang telah mencoba dengan pola tanam kentang sejajar kontur tidak mengurangi hasil produksi (Gambar 12a dan Gambar 12b), kentang tidak membusuk, tidak mengalami kesulitan dalam memupuk, dan malah dapat mengurangi erosi lahan kentang, meskipun angka yang pasti belum diperoleh. Pola pikir petani di desa Bakal Dieng ini dapat untuk percontohan yang perlu dimasyarakatkan oleh Pemda Kab. Banjarnegara dalam konservasi lahan untuk mengurangi laju sedimentasi waduk Mrica.

Teknosabo yang diusulkan untuk konservasi lahan adalah suatu teknik yang sederhana, yaitu agar masyarakat membuat penampung angkutan sedimen dasar kurang lebih 7,0 m<sup>3</sup>/ha, di DAS Lumajang. Penampung sedimen dapat berupa lobang (*luangan, jugangan*), atau saluran penampung air (Gambar 13a) rorak (Gambar 13b) atau tampungan lumpur kontrusi kayu, batako, bronjong batu, atau bahan lainnya yang dapat berfungsi sebagai penampung sedimen.



**Gambar 13a** Contoh saluran pembuangan air (SPA) (Sumber: Aturan Konservasi, Kem.Hut)



**Gambar 13b** Contoh rorak/saluran buntu (Sumber: Aturan Konservasi, Kem.Hut)





**Gambar 14a** Tampungan lumpur lahan kentang di Dieng dari keranjang bambu (dok. Soewarno, 2012)



**Gambar 14b** Tampungan lumpur lahan kentang di Dieng dari ember karet (dok. Soewarno, 2012)

Dapat dibuat konstruksi beton, atau dari keranjang bambu dan ember di lahan kentang Desa Bakal (Gambar 14a dan Gambar 14b) yang semua jenis bak tampung sedimen itu setelah penuh endapan lumpur harus dikosongkan agar terisi endapan lagi pada hujan berikutnya.

Oleh karena itu teknosabo dapat sebagai bahan pertimbangan bagi Pengelola Waduk Mrica dan Instansi terkait dalam rangka konservasi lahan daerah pegunungan dan sekaligus menghambat laju sedimentasi waduk.

## KESIMPULAN

Balai Sabo sebagai salah satu institusi litbang di lingkungan Pusat Litbang Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum berkewajiban melakukan penelitian terkait bencana sedimen termasuk longsor di daerah vulkanik dan non vulkanik. Berdasar hasil penelitian yang telah ada serta pembahasan diatas, maka dapat disimpulkan bahwa teknosabo selain melalui *green sabo* berupa reboisasi, yaitu secara *hardsabo* berupa sabo dam mikro mampu menangkap sedimen yang hanyut akibat hujan di daerah hulu/pegunungan serta bisa dikembalikan ke lahan. Sebagai contoh sabo dam mikro di Bakal menampung volume lumpur hasil erosi antara 2,74 - 5,14 m<sup>3</sup>/hari, selama terjadi hujan pada volume 64 - 352 m<sup>3</sup>/hari. Sedangkan di Sigeblok dapat menampung volume lumpur antara 0,006 m<sup>3</sup>/hari - 0,147 m<sup>3</sup>/hari pada volume hujan 21 - 1860 m<sup>3</sup>/hari. Diketahui laju erosi lahan pemukiman lebih rendah dibanding pada lahan kentang. Pembangunan sabo dam mikro ini perlu dikembangkan secara menyeluruh pada lahan petani di daerah hulu dengan kemiringan lahan 15-35°. Hal tersebut akan secara langsung mengurangi sedimentasi yang akan masuk ke sungai-sungai di daerah hulu DTA Waduk PB Soedirman.

Pada tahun 1984 terdapat 22 DAS prioritas, dan bertambah menjadi 39 dan 62 DAS pada 1992 dan 1998, selanjutnya pada tahun 2005 telah ditetapkan sekitar 282 DAS prioritas untuk dikelola secara khusus (*Peraturan Presiden No.7 tahun 2005*), maka perlu dibuat Peta Jaringan Sabodam DAS prioritas, yang merupakan hasil kerja sama antara BBWS seluruh Indonesia dengan Pusat Litbang terkait.

Upaya mereduksi sedimentasi dengan cara konservasi lahan ini diharapkan dapat sebagai contoh bagi petani kentang di DAS Waduk Mrica Hulu.

## DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, C. 1995. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Bambang Triatmodjo, Prof.Dr.Ir. 2010, *Hidrologi Terapan*, Cetakan kedua, Beta Offset, Yogyakarta
- Bambang Djatmiko, 2004, Uji Kualitas Batako dengan Bahan Campuran Pasir Gua Songsong Singosari Malang, *Teknologi Kejuruan*, Vol 27, No 2
- Chandra, H., T. Yunita, Oriza, Akhyar Mustafa, 2006, *Mengapa Indonesia Perlu Sabo*, Balai Sabo, Yogyakarta
- Departemen Pekerjaan Umum, 1989, *Laporan Akhir Pengukuran Sedimentasi Waduk PLTA Mrica*, Jakarta
- Departemen Pekerjaan Umum, 2005, *Sistem Pengendalian Angkutan Sedimen Dengan Teknologi Sabo Di DAS Waduk Serbaguna*, Bandung

- Departemen Pekerjaan Umum, *Metode Perhitungan Awal Laju Sedimentasi Waduk*, SK SNI M-37-1993-03, Dep PU Jakarta
- Dewan Riset Nasional, *Metode Pengukuran Debit Sungai dan Saluran Terbuka Dengan Alat Ukur Arus Tipe Baling Baling*, SNI, 03-2819-1992
- Fujita, M., 2005, *Debris And Flood Control System*, Bahan Kuliah Magister Pengelolaan Bencana Alam, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Hafied A. Gany, A., 2006, *Sumber Daya Air : Misteri, Sejarah, dan Teknologi di Balikinya*, Pusat Litbang Sumber Daya Air, Bandung
- Hary CH, Dr.Ir, M.Eng, 2006, *Penanganan Tanah Longsor dan Erosi*, Gadjah Mada University Press
- Indonesia Power, PT., 2012, *Laporan Pelaksanaan Penyelidikan Sedimentasi Waduk PLTA Mrica*, Banjarnegara
- Joesron Loebis, S. Yuningsih dan Heni, 2005, *Pengkajian Sistem Jaringan Hidrologi dalam Satuan Wilayah Sungai*, Bandung, Prosiding Kolokium Hasil Litbang SDA
- Kemenhut, 2010, *Aturan Konservasi*, Kementerian Kehutanan, Naskah UBP Mrica
- Lake Biwa Works Office, 2002, *Erosion Control and Torrential Improvement for Seta River*, Japan, Otsu City, Ministry of Construction
- Linden, P.Vander, 1981, *An input-output Analysis With Respect to Water and its load for tropical watershed (central Java-Indonesia)*, The Indonesian Journal of Geography. 11 (42) : 19-38
- Power, PT., 2005, *Laporan Pelaksanaan Penyelidikan Sedimentasi Waduk PLTA Mrica*, Banjarnegara
- Pusat Litbang Pengairan, 1988, *Studi Pengaruh Pembangunan PLTA Mrica terhadap Pengelolaan Air di DAS Serayu*, Bandung, Pusat Litbang Pengairan-PLN
- Republik Indonesia. 2004. *Undang-Undang No.7 Tahun 2004 Tentang Sumber Daya Air*. Sekretariat Negara. Jakarta
- Soewarno, 2013, *Hidrometri dan Aplikasi Teknosabo dalam Pengelolaan Sumber Daya Air*. Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta
- Soewarno dan S. Petrus, 2008, *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 B. Sukatja, 2010, *The Use of Dam sabo in The River Channel to Decrease of The Mrica Reservoir Sedimentation*, International Journal of Academic Research, Vol. 2 No. 5, September 30, 2010, ISSN 2075-4124, Baku, Azerbaijan, Indexed by : index Copernicus international journal Seek
- Soewarno, C. Hassan dan C. B. Sukatja, 2010, *Mengembangkan Teknosabo sebagai Upaya dalam Mengendalikan Daya Rusak Air*, Jurnal Sabo, Vol. 1 N o. 1, November 2010, ISSN 1907-2697
- Strand, R.L, and Pemberton,E.L, 1982, *Reservoir Sedimentation*, Technical Guideline for Bureau Of Reclamation, Denver
- Slamet Supriadi Wastra, 2010, *Aplikasi Teknologi dalam Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Naskah UBP Mrica
- Suripin, Dr. Ir, 2001, *Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Ar*, Penerbit Andi, Yogyakarta
- Sumaryono, A., 2005, *The Application of Sabo Technology to Decrease Reservoirs Sedimentation*, Proceeding of International Conference on Integrated Sediment-related Disaster Management, August 3-5, 2005, Yogyakarta
- Surat kabar: Harian Kompas, 18 Februari 2004. Harian Kompas, 18 September 2006, Suara Pembaruan 1 Mei 2004, Jakarta
- Varshney, R.S,1974, *Engineering Hydrology*, Rookee
- WMO, 2003, *Manual on Sediment Management and Measurement*, Operational Hydrology No. 47 (WMO - No 948), Geneva, Switzerland