



## PERENCANAAN SABO UNTUK MENGENDALIKAN LAJU SEDIMENTASI DI RAWAPENING

### *SABO PLAN FOR CONTROLLING SEDIMENT RATE OF RAWAPENING*

**Ardian Alfianto<sup>1</sup>, Shandy Cecilia<sup>2</sup>, Alidina Nurul Hidayah<sup>3</sup>, Anjelita<sup>4</sup>, Cosmas Bambang Sukatja<sup>5</sup>**

<sup>1,3,5</sup> Balai Teknik Sabo, Jl. Sabo No. 1 Sopalan, Maguwoharjo, Depok, Sleman, Yogyakarta 55282, Indonesia

<sup>2</sup> Tokyo Institute of Technology, 4259 Nagatsutacho, Midori Ward, Yokohama, Kanagawa 226-0026

<sup>4</sup> Balai Hidrolika dan Geoteknik Keairan, Jl. Ir H Juanda No 193 Bandung, Jawa Barat, Indonesia

\*Corresponden Email: [art.diean@gmail.com](mailto:art.diean@gmail.com)

Diterima: 18 April 2019 ;Direvisi: 19 Januari 2021; Disetujui: 22 Januari 2021

#### ABSTRACT

*Rawapening has an area of 2,667 acres, which now ceases to exist. This natural reservoir serves to preserve water, control flood, generate electric turbine, and raw water resource. The depth of this lake decreases 42 cm annually, with the shallowing could cause flooding of the lakeside and reducing the water supply. This study finds the additional amount of structure and dimension of sabo dam to prevent hazards at each river: at Panjang 2 (B=20m H=2m, and B=25m H=2,5 m), at Galeh 2 (each of B=8m H=2,4m), at Legi 2 (B=10m H=2m, and B=25m and H=2,5m), at Parat 1 (B=13m H=2,7m), at upstream Sraten 1 (B=15m H=2,7m), at downstream Sraten 1 (B=15m H=2,7m), and at Kedungringgis 1 (B=12m H=1,8m). Existing materials are fine and rough sand. Using WaTEM/SEDEM, saboplan guideline by processing the designed capacity, it is estimated that each river's potential annual yield (in tonnes): Panjang 86.221,8, Galeh/Torong 45.138,24, Legi 42.404,04, Parat 28.579,32, Sraten 25.988,76, and Kedung Ringis 6.955,2. Overall, sabo dam is designed to be a closed type dam located in inlet rivers of Rawapening. Sabo dam construction holds 25% of potential sediment. Collectively, it adds a control volume of 2.885 m<sup>3</sup>, from 11.539 m<sup>3</sup> to become approximately to become 14.424 m<sup>3</sup>. To cope with sedimentation in Rawapening, the structural approachment (sabodam) should be combined with non structural approachment such as restoring land use in the upstream area for more optimal sedimentation control.*

**Keywords:** Sedimentation, rawapening, erosion, WaTEM/SEDEM

#### ABSTRAK

*Danau Rawapening sebagai waduk alami dengan luas 2667 hektare, yang berfungsi sebagai penampung, penahan air permukaan, penggerak pembangkit listrik, pengendali banjir, serta sumber air baku, terancam hilang akibat sedimentasi. Pendangkalan danau yang mencapai 42 cm/tahun dapat menyebabkan banjir pinggir danau, serta mengurangi cadangan air musim kemarau. Untuk itu diperlukan suatu upaya untuk mengatasi hal tersebut, salah satunya melalui penerapan Sabodam. Analisis pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan kaidah saboplan serta bantuan perangkat lunak WaTEM/SEDEM yang diaplikasikan pada lokasi studi di 8 sungai, yaitu Panjang, Galeh, Legi, Parat, Sraten hulu, Sraten hilir, dan Kedungringgis. Hasil analisis menunjukkan bahwa prediksi potensi total sedimen per tahun untuk setiap sungai berturut-turut sebesar Sungai Panjang 86.221,8 ton/tahun, Galeh/Torong 45.138,24 ton/tahun, Legi 42.404,04 ton/tahun, Parat 28.579,32 ton/tahun, Sraten 25.988,76 ton/tahun, Kedung Ringis 6.955,2 ton/tahun. Secara keseluruhan, Sabodam dapat menampung 25% potensi sedimen yang masuk ke danau. Hasil analisis penambahan volume kontrol, secara kumulatif sebesar 2.885 m<sup>3</sup>, dari volume awal sebesar 11.539 m<sup>3</sup> menjadi volume total 14.424 m<sup>3</sup>. Hasil ini diharapkan dapat mengurangi dampak pendangkalan danau. Untuk mengatasi fenomena sedimentasi di Rawapening sebenarnya tidak cukup hanya dengan penanganan dari segi struktural (sabodam), namun perlu penanganan secara non struktural seperti pengembalian alih fungsi lahan di daerah hulu untuk pengendalian sedimentasi yang lebih optimal.*

**Kata Kunci:** Sedimentasi, rawapening, erosi, WaTEM/SEDEM

## PENDAHULUAN

Danau Rawapening merupakan tampungan air alami yang memiliki fungsi penting sebagai penampung dan penahan aliran air permukaan, penggerak Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Jelok-Timo, pengendali banjir, sumber air baku, irigasi, perikanan dan pariwisata (Soeprbowati, 2012). Danau ini dibangun oleh Belanda mulai tahun 1912 dengan luas mencapai  $\pm 26,67 \text{ km}^2$  pada musim penghujan dan  $\pm 16,5 \text{ km}^2$  pada musim kemarau (LIPI, 2015).

Seiring masa pengoperasian, Danau Rawapening mengalami sedimentasi sehingga fungsi Danau menjadi kurang optimal. Hal ini menjadi salah satu penyebab terjadinya banjir di daerah sekitar sedangkan pada musim kemarau mengakibatkan kekurangan air yang dikhawatirkan akan mengganggu pengoperasian turbin PLTA Jelok-Timo yang menyuplai kebutuhan listrik Jawa - Bali. Sedimentasi yang terjadi di Danau Rawapening disebabkan oleh angkutan sedimen erosi lahan yang masuk ke sungai-sungai atau inlet danau (Apriliana dkk, 2014).

Salah satu upaya untuk memperlambat proses sedimentasi adalah pengendalian sedimen di bagian hulu melalui penerapan teknologi sabo (teknosabo) yang mempunyai arti penanggulangan bencana yang diakibatkan pergerakan tanah atau sedimen yang dibawa oleh aliran air. Bangunan pengendali sedimen bukan merupakan pilihan utama dalam usaha penanggulangan erosi dan sedimentasi di suatu DAS. Namun pembuatan bangunan pengendali sedimen merupakan langkah penunjang utama dalam melakukan usaha konservasi lahan, karena mampu meminimalkan jumlah sedimen selama proses konservasi lahan berlangsung.

Teknologi Sabo merupakan bangunan dalam pengendalian sedimen, menahan sedimen di area produksi, mengendalikan fluktuasi dasar sungai dan menampung sedimen di bagian hilir (Takahashi, 2007). Teknologi Sabo pertama kali diperkenalkan tahun 1970 di daerah gunungapi untuk penanganan aliran lahar hujan, seperti di Kawasan Gunungapi Merapi, Kelud, Semeru, Agung, dan Galunggung (Puslitbang SDA, 2014). Beberapa kelebihan teknosabo sebagai konsep menyeluruh yang berbasis ramah lingkungan, yaitu:

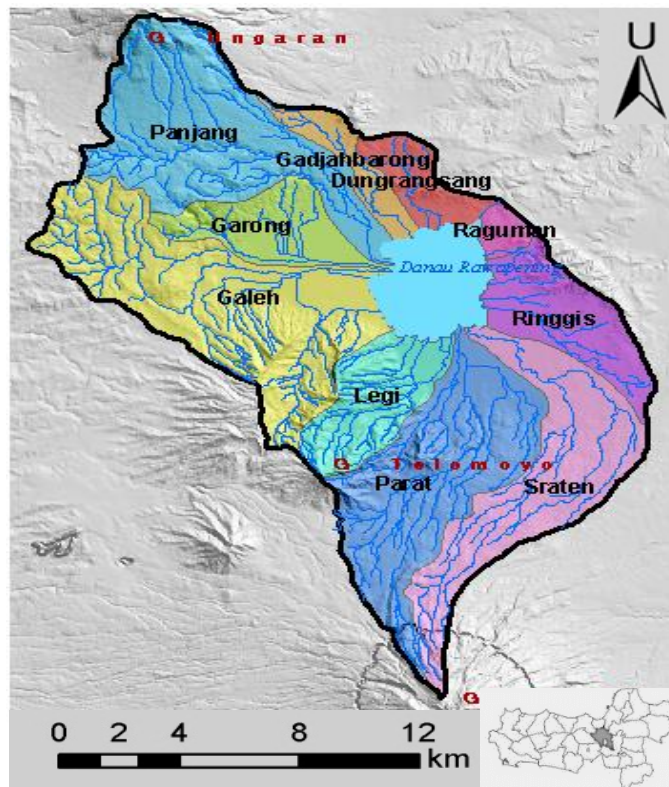
- 1) Tidak hanya menggunakan pendekatan struktural, atau penghitungan bangunan fisik, tetapi juga menerapkan pendekatan non-struktur (pemberitaan terkini kegiatan gunungapi, kejadian banjir, peraturan dan kebijakan terkait bencana dan partisipasi masyarakat dalam penanganan banjir)
- 2) Mengedepankan kesetimbangan angkutan sedimen hulu-hilir, dibuktikan dengan adanya fungsi bangunan sabo sebagai penahan sementara ekstra sedimen saat banjir dan pengalir sedimen tersebut ke hilir perlahan; dan
- 3) Mendukung kelangsungan suplai sedimen pada alur sungai untuk pemeliharaan lingkungan badan air sekaligus keselamatan manusia (Suparman dkk, 2011).

Penerapan teknosabo pada Danau Rawapening akan dilakukan pada bagian hulu sungai yang merupakan inlet badan air. Dengan demikian, kajian ini bertujuan untuk memperoleh estimasi besarnya reduksi sedimen pada bagian hulu pada banyak sungai inlet Danau Rawapening dengan penerapan teknosabo. Kajian ini dapat digunakan sebagai acuan pembanding dalam mereduksi angkutan sedimen yang masuk ke dalam suatu danau pada daerah lainnya (Indrayati dan Hikmah, 2018 dan Sutanto dan Sulaswono dalam Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2012).

## METODOLOGI

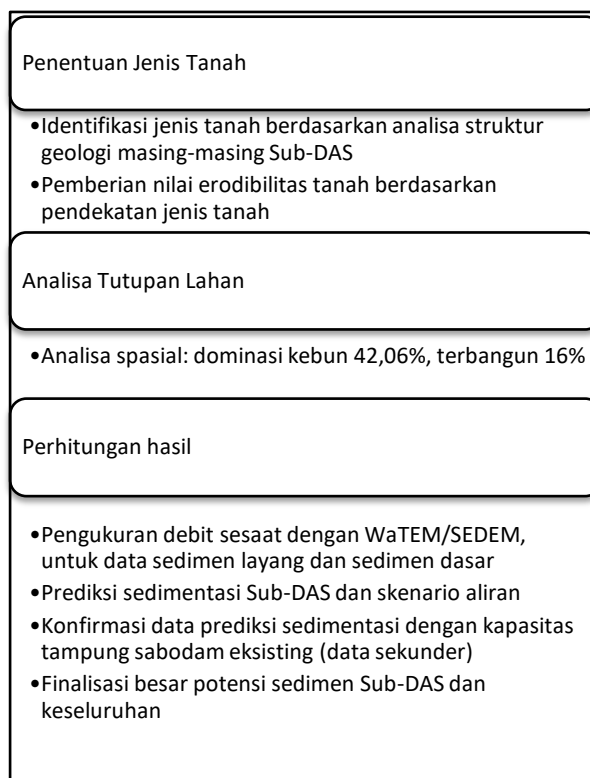
Lokasi penelitian berada di daerah tangkapan hujan Danau Rawapening yang memiliki luas  $273,13 \text{ km}^2$  seperti ditampilkan pada Gambar 1. Penelitian ini membahas penghitungan sedimentasi di Sub-DAS Galeh, Sub-DAS Legi, Sub-DAS Panjang, Sub-DAS Parat, Sub-DAS Kedung Ringis dan Sub-DAS Sragen serta potensi sedimen yang dapat mengalir ke hilir sehingga dapat mengakibatkan sedimentasi danau. Zona sedimen pada 3 (tiga) Sub-DAS ditampilkan pada Gambar 2.

Penelitian ini menggunakan metodologi studi kasus, dengan pendekatan metode penelitian kuantitatif, dengan data-data penelitian diperoleh melalui pengumpulan data primer dan sekunder yang kemudian diolah melalui persamaan-persamaan yang relevan Data Primer berupa karakteristik sungai (*cross dan long section*) maupun data sedimen layang dan dasar sungai. Data sekunder diperoleh melalui pengolahan data citra satelit seperti data tutupan lahan, DEM, peta geologi dan data dari hasil laporan penelitian/studi yang telah dilakukan sebelumnya oleh BBWS Pemali-Juana.



Gambar 1 Daerah Aliran Sungai Tuntang (Danau Rawapening)

### Perhitungan Potensi Produksi Sedimen



Gambar 2 Alur penerapan teknologi sabo

Secara umum, perhitungan potensi produksi sedimen terdiri dari 3 (tiga) tahap yaitu penentuan jenis tanah, analisa tutupan lahan, dan perhitungan hasil (Gambar 2). Penerapan teknologi sabo dilaksanakan setelah finalisasi hasil perhitungan.

1. Penentuan jenis tanah

Batuan geologi di Sub-DAS Panjang didominasi oleh batuan Gunungapi Gajah Mungkur. Sub-DAS Galeh/Torong dan Sub-DAS Legi batuan geologi yang mendominasi adalah formasi Gunungapi Gilipetung dan Gunungapi Telomoyo. Formasi batuan Gunungapi Tak Terpisahkan mendominasi struktur geologi di Sub-DAS Parat, Sraten dan Kedung Ringis. Dengan menggunakan analisa spasial terhadap pendekatan jenis tanah, maka nilai erodibilitas tanah di DAS Tuntang dirinci pada Tabel 1.

2. Tutupan lahan

Penggunaan lahan di DAS Tuntang berdasarkan analisis spasial, didominasi oleh kebun (42,06% atau 11,48 km<sup>2</sup>), sedangkan luas lahan terbangun mencapai 0,44 km<sup>2</sup> atau mencapai 16%. Berdasarkan angka ini, maka dapat dikatakan bahwa sedimentasi akibat erosi lahan di DAS Tuntang disebabkan oleh penggunaan lahan dengan fungsi budidaya.

3. Perhitungan hasil.

Kalibrasi perhitungan sedimen yang terbentuk dan terbawa melalui masing-masing sungai inlet dengan metode WaTEM/SEDEM dilakukan berdasarkan pengukuran dan perhitungan debit sesaat yang diperoleh dari data lapangan untuk menghitung kandungan sedimen layang (*suspended load*) dan sedimen dasar (*bed load*).

**Estimasi Laju Sedimen dengan WaTEM/SEDEM**

Pada penelitian ini, pemodelan erosi dilakukan dengan bantuan perangkat lunak WaTEM/SEDEM (*Water and Tillage Erosion Model/Sediment Delivery Model*) yang merupakan model erosi berbasis distribusi spasial yang dikembangkan sekitar tahun 2005 oleh KU Leuven dari Belgia (Alatorre et al, 2010). Model ini bertujuan untuk mensimulasikan kondisi lahan sehingga mengetahui besarnya erosi dan hasil sedimen di Daerah Aliran Sungai (DAS) serta lokasi terjadinya proses-proses tersebut. Model ini secara umum memprediksi erosi berbasis model RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*) dengan beberapa fungsi, antara lain: 1) untuk memperhitungkan kehilangan tanah di lahan, 2) untuk perhitungan pola limpasan dengan mempertimbangkan algoritma aliran dan batas area pengaliran, 3) pengolahan lahan, dan 4) keberadaan infrastruktur jalan (Van Rompaey et al, 2005). Sedimen dihitung berdasarkan jalur aliran menuju sungai terdekat dengan mempertimbangkan kapasitas transportasi sedimen sebanding dengan potensi erosi alur. Data masukan yang digunakan RUSLE dijabarkan pada formula berikut (Van Oost et al, 2000):

$$E = R \times LS2D \times K \times C \times P \dots\dots\dots(1)$$

Untuk perhitungan kapasitas transport sedimen digunakan rumus yang dijabarkan oleh Van Rompaey et al (2001):

$$TC = Ktc \times R \times K(LS2D - 4.1 \times S \times 0.8) \dots\dots(2)$$

**Tabel 1** Nilai erodibilitas tanah DAS Tuntang melalui pendekatan jenis tanah

Tanah	Luas (km <sup>2</sup> )	Persentase (%)
Andosol	48,02	17,58%
Regosol	12,87	4,71%
Latosol Coklat Kemerahan dan Litosol	85,645	31,35%
Alluvial	70,77	25,91%
Latosol Kuning Kemerahan dan Litosol	55,81	20,43%
<b>Total</b>	<b>27,31</b>	<b>100%</b>

Sumber: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan dalam Hardiyatmo (2006)

dengan:

E adalah erosi tahunan (ton/ha/tahun),

R adalah Erosivitas Hujan (MJ.mm/Ha.Tahun),

K adalah Erodibilitas Tanah (Ton/HJ.mm),

C adalah Faktor Tanaman,

P adalah Faktor Pengolahan Lahan,

LS2D adalah Faktor Topografi Secara 2 Dimensi,

TC adalah Transport Sedimen,

Ktc adalah Koefisien Transport,

**Estimasi Volume Sedimen Rencana (Vd) (Kusumobroto, 2013)**

Nilai volume sedimen rencana (Vd) pada titik kontrol sama dengan Vmo. Jika nilai volume kelebihan sedimen (Ve) adalah selisih Vd dan Va, dan nilai Va adalah 0, maka Ve = Vd. Jadi, volume sedimen rencana yang diperhitungkan adalah Vd.

$$Vmo = V1 + V2 \dots\dots\dots(3)$$

$$Vmo = Am \times Lm \dots\dots\dots(4)$$

$$Lm = B \times Dm \dots\dots\dots(5)$$

$$V1 = A1 \times L1 \dots\dots\dots(6)$$

$$A1 = B \times Dm \dots\dots\dots(7)$$

dengan:

V1 adalah Volume deposit sedimen di dasar sungai (m<sup>3</sup>),

Vmo adalah Sedimen tidak stabil dasar dan tebing sungai (m<sup>3</sup>),

A1 adalah Luas potongan melintang endapan dasar sungai (m<sup>2</sup>),

V2 adalah Volume sedimen tidak stabil di tebing sungai (m<sup>3</sup>),

L1 adalah Panjang alur dari mulut lembah atau titik paling hilir sampai dengan titik tertentu di hulu yang dapat tererosi aliran debris (m),

B adalah Lebar rata-rata dasar sungai dapat tererosi aliran debris (m),

Dm adalah Kedalaman rata-rata deposit dasar sungai (m) – yang umumnya diperoleh dari hasil survei lapangan,

Lm adalah Jarak sepanjang sungai dari mulut lembah hingga titik terjauh daerah tangkapan, termasuk cabang sungai (m),

Am adalah Luas rata-rata potongan melintang dasar sungai (m<sup>2</sup>),

B adalah Lebar rata-rata dasar sungai yang diperkirakan akan tererosi oleh aliran debris (m), A adalah luas das (m).

**Estimasi Volume Sedimen Terangkut (Vt; Transportable Sediment) Oleh Aliran Debris**

$$Vt = \frac{10^3 \times R_{24} \times [Cd / (1 - Cd)] \times fr}{1 - \lambda} \dots\dots\dots(8)$$

$$Cd = \frac{\rho \tan \theta}{(\sigma - \rho)(\tan \theta - \tan \theta)} \dots\dots\dots(9)$$

$$fr = 0,05 \times (\log A - 2)^2 + 0,05 \dots\dots\dots(10)$$

dengan: λ adalah konstanta yang bernilai 0,4 yang diperoleh berdasarkan SNI 2851:2015; σ adalah berat jenis sedimen yang bernilai 2,550 kg/m<sup>3</sup>; ρ adalah massa jenis sedimen yang bernilai 1,180 kg/m<sup>3</sup>; Cd adalah konsentrasi volumetrik pada sedimen aliran debris yang bergerak, θ adalah kemiringan dasar sungai yang bernilai 30°, θ adalah sudut geser berdasarkan hasil laboratorium.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

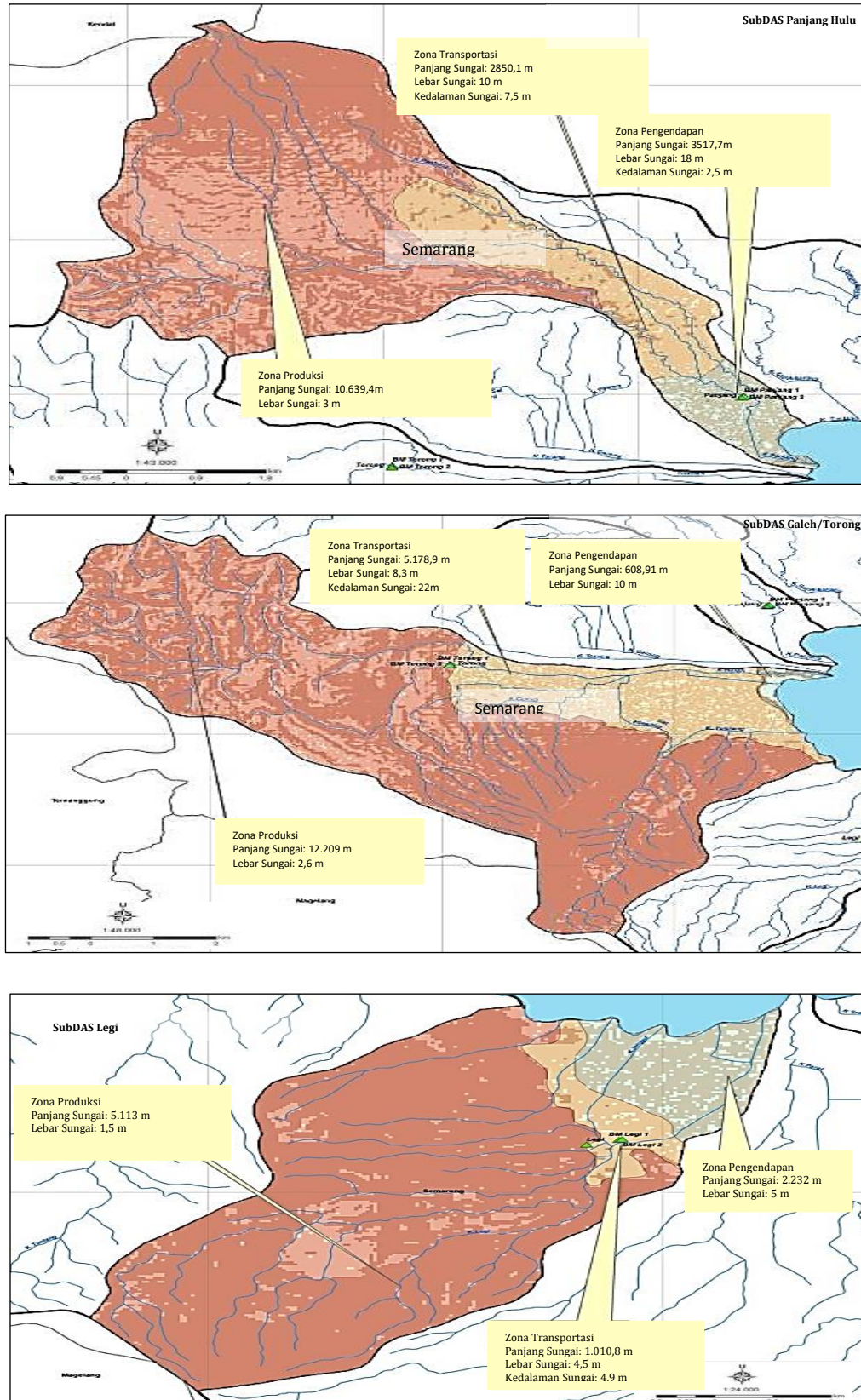
Hasil perhitungan menunjukkan bahwa potensi sedimen terbesar diprediksi akan dialirkan melalui Sub-DAS Parat yang diikuti dengan Sub-DAS Panjang dan Sub-DAS Galeh Torong (Tabel 2). Potensi produksi sedimen Sub-DAS Parat diprediksi sebesar 903 ton/tahun dengan besar sedimentasi mencapai 345 ton/tahun, sehingga sedimen yang keluar sungai utama dan masuk inlet Danau Rawapening mencapai 558 ton/tahun. Campuran hasil olah data dan data dari BBWS Pemali Juana (2016) menunjukkan bahwa kapasitas tampung sabodam sebesar 10.432,5 m<sup>3</sup> atau 26,297.46 ton/tahun (berat jenis rata-rata: 2,55 ton/ m<sup>3</sup>).

Sub-DAS Panjang berpotensi menghasilkan sedimen sebesar 906 ton/tahun. Sementara sedimentasi tahunan yang terjadi mencapai 362 ton, sehingga potensi sedimen yang keluar dari sungai utama Sub-DAS Panjang mencapai 544 ton/tahun.

**Tabel 2** Hasil permodelan WaTEM/SEDEM sungai (Sub-DAS) inlet Danau Rawapening

	Sub-DAS					
	Parat	Panjang	Galeh/Torong	Legi	Sraten	Kdg Rgs
Hasil Sedimen (ton)	558	544	516	306	257	26





**Gambar 3** Zonasi sedimen Sub-DAS Panjang (atas), Sub-DAS Galeh/Torong (tengah) dan Sub-DAS Legi (bawah)

Sebesar 837 ton sedimen diproduksi oleh Sub-DAS Galeh/Torong per tahun. Potensi total sedimentasi Sub-DAS ini mencapai 321 ton/tahun. Selisih antara produksi sedimentasi dengan potensi sedimentasi yang mencapai 516 ton/tahun diprediksi akan mengalir hingga Danau Rawapening. Analisis kapasitas tampung bangunan sabodam di Sub-DAS Galeh/Torong sebesar 18.309 m<sup>3</sup> atau 46.321 ton/tahun.

Uji sungai dilakukan di beberapa titik di sepanjang sungai, situasi saat pengambilan sampel di sungai Parat dan Legi terjadi pada saat aliran tinggi atau terjadi banjir, sedangkan sungai lain pada saat aliran rendah atau tidak ada hujan. Hal

ini untuk masukan model akan didapatkan hasil yang lebih baik, karena ada kondisi saat terjadi hujan dan tidak hujan. Hasil uji sungai dicatat dalam dimensi kg/s dan dikonversi ke ton/tahun untuk mempermudah perbandingan.

Hasil uji sungai menunjukkan bahwa hasil sedimen terbesar diproduksi di titik Legi bawah jembatan sebanyak 102,3 ton/tahun, sedangkan hasil sedimen terkecil diproduksi di titik Galeh/Torong tengah sebanyak 0,104 ton/tahun. Sebagai catatan bahwa uji sungai dilakukan secara sampling, serta dipergunakan sebagai masukan model.

**Tabel 3** Hasil uji sungai sedimen dasar (Sub-DAS) inlet Danau Rawapening

Sub-DAS	Hasil sedimen (kg/s)	Hasil Sedimen (ton/tahun)
Galeh/Torong Tengah	0,0000033	0,1041
Galeh/Torong Tepi	0,000051	1,609
Galeh/Torong Sisi Kanan	0,000613	19,34
Galeh/Torong Sisi Kiri	0,000037	1,168
Legi Bawah Jembatan	0,003243	102,3
Legi Atas Jembatan	0,000096	3,029
Parat Hulu 1	0,000065	2,051
Parat 1	0,0013	41,02
Parat Hulu 2	0,001777	56,08
Parat 2	0,002665	84,1
Parat 3	0,000984	31,05
Sraten Hulu1	0,0000124	0,3913
Sraten Hulu 2	0,0000094	0,2966
Kedung Ringis	0,0000057	0,1799
Panjang Bawah Jembatan 1	0,000063	1,988
Panjang Bawah Jembatan 2	0,000048	1,515

Berdasarkan hasil pemodelan, Sub-DAS Legi, Sub-DAS Sragen dan Sub-DAS Kedung Ringis, diprediksi akan memproduksi sedimen sebesar 464 ton/tahun, 368 ton/tahun dan 50,5 ton/tahun dengan besar sedimentasi mencapai 158 ton/tahun, 111 ton/tahun dan 24,5 ton/tahun. Dengan demikian prediksi jumlah sedimen yang keluar dari masing-masing sungai utama mencapai 306 ton/tahun, 257 ton/tahun dan 260 ton/tahun (Tabel 2). Berdasar hasil laboratorium pada Sungai-sungai yang memproduksi sedimen terbesar, komposisi sedimennya dapat dicermati pada Tabel 4 di bawah ini. Komposisi dominan adalah pasir sedang pada Panjang dan Legi, sedangkan sedimen Galeh/Torong didominasi oleh pasir kasar.

Potensi sedimen yang mengalir melewati sungai inlet Danau Rawapening juga mungkin berasal dari longoran tebing dan erosi dasar sungai. Dengan menghitung berdasarkan rumus Volume Sedimen Rencana (Vd) pada persamaan 3, maka dapat diperkirakan Volume Sedimen Terangkut/Transportable Sediment (Vt) berdasarkan aliran debris.

Hasil estimasi total dengan urutan volume sedimen tertinggi adalah Sub-DAS Panjang, Sub-

DAS Galeh/Torong, Sub-DAS Legi, Sub-DAS Parat, Sub-DAS Sragen dan Sub-DAS Kedung Ringis (Tabel 5).

**Penerapan Teknologi Sabo (Sabodam)**

Penentuan lokasi dilakukan berdasarkan zona produksi sedimen. Penambahan bangunan sabodam di lokasi-lokasi tersebut diharapkan dapat secara efektif dan efisien menahan laju transpor sedimen.

Berdasarkan analisis meteorologi, geologi, geomorfologi, tanah, penggunaan lahan, kerentanan tanah, hidrologi, zona produksi, transportasi, sedimentasi, serta analisis sedimen, maka dapat disimpulkan bahwa 3 (tiga) Sub-DAS yang memiliki potensi sedimen yang akan turun menuju Danau Rawapening terbesar adalah Sub-DAS Parat, Panjang, serta Galeh/Torong.

Berdasarkan aspek lokasi rencana penempatan sabodam di lokasi masing-masing, sebagian besar terletak pada zona pengendapan, letaknya di sebelah hilir infrastruktur jalan rel, jembatan, bendung air, sehingga terlihat bahwa perencanaan sabodam lebih dominan berfungsi sebagai ground sill.

**Tabel 4** Komposisi sampel sedimen sungai hasil laboratorium

No	Agregat	Ukuran (mm)	Panjang (%)	Galeh/Torong (%)	Legi (%)
1	Lempung (clay)	< 0,004	1,24	5	8,46
2	Lanau (silt)	0,004 – 0,0625	1,24	2,91	4
3	Pasir halus	0,125-0,25	11,65	7,38	20,34
4	Pasir sedang	0,25-0,5	28,11	26,01	33,27
5	Pasir kasar	0,5-1	21,12	39,57	25,58
6	Kerikil	> 4	8,11	0	0



**Tabel 5** Prediksi potensi total sedimen tahunan dari sungai inlet Danau Rawapening

Sub-DAS	Vd Hitungan (ton)	V WaTEM/ SEDEM (ton)	Vd Total (ton)
Panjang	85.705,20	516,60	86.221,80
Galeh/Torong	44.646,84	491,40	45.138,24
Legi	42.114,24	289,80	42.404,04
Parat	28.050,12	531,72	28.579,32
Sraten	25.744,32	244,44	25.988,76
Kedung Ringis	6.930,00	25,20	6.955,20

Berdasarkan perhitungan review kapasitas tampung sabodam (Tabel 6 dan Tabel 7), 2 (dua) buah sabodam di Sub-DAS Panjang direncanakan akan mencapai tampungan penuh dalam waktu 11 (sebelas) tahun. Sementara itu, sabodam di Sub-DAS Goleh/Torong dapat menampung sedimen dan penuh dalam kurun waktu 8 (delapan) tahun.

Sabodam Sub-DAS Legi direncanakan penuh dalam waktu 4 (empat) tahun, sedangkan bangunan di Sub-DAS Parat direncanakan penuh setelah 6 (enam) tahun. Sabodam Sraten hulu dan hilir masing-masing dirancang untuk menampung untuk 12 (dua belas) dan 24 (dua puluh empat) tahun. Sabodam Kedung Ringis dirancang untuk menampung hingga 5 (lima) tahun.

Sub-DAS Panjang dengan 3 (tiga) buah sabodam, akan mencapai kapasitas maksimal dalam waktu 1 (satu) tahun, sedangkan sabodam Sub-DAS Galeh/Torong yang berjumlah 2 (dua) buah akan penuh dalam waktu 2 (dua) tahun. Sub-DAS Legi dan Sub-DAS Parat berturut-turut memiliki 2 (dua) dan 1 (satu) sabodam yang akan penuh dalam waktu 1 (satu) tahun.

Sabodam satu-satunya di Sub-DAS Sraten hulu dan hilir akan mencapai kapasitas maksimal dalam waktu 2 (dua) tahun. Sub-DAS Kedung Ringis memiliki bangunan yang akan penuh dalam waktu 7 (tujuh) tahun.

Kapasitas tampung pada penambahan rencana sabodam berdasarkan analisis, menghasilkan kapasitas tampung 2 (dua) buah sabodam dengan masing-masing Sub-Das Panjang yaitu sebesar 1.289 m<sup>3</sup>, Sub-Das Panjang satu sabodam sebesar

2.517 m<sup>3</sup>, Sub-Das Galeh/Torong 2 (dua) buah sabodam masing-masing sebesar 1.355 m<sup>3</sup>. Penambahan kapasitas tampung dilakukan bersamaan dengan pengerukan (pemeliharaan) rutin untuk optimalisasi fungsi sabodam.

Sub-DAS Legi 2 (dua) buah sabodam masing-masing sebesar 645 m<sup>3</sup>, Sub-DAS Parat 1 (satu) buah sabodam sebesar 1.062 m<sup>3</sup>, Sub-DAS Sraten hulu 1 (satu) buah sabodam sebesar 1.230 m<sup>3</sup>, Sub-DAS Sraten hilir 1 (satu) buah sabodam sebesar 1.230 m<sup>3</sup>, serta Sub-DAS Kedung Ringis sebesar 1 (satu) buah sabodam sebesar 1.807 m<sup>3</sup>.

Analisis kapasitas ini menghasilkan dead storage total keseluruhan sebesar 11.539,02 m<sup>3</sup>; volume kontrol keseluruhan sebesar 2.885 m<sup>3</sup>; serta volume total sebesar 14.424 m<sup>3</sup>. Untuk masing-masing keterangan lebih jelas seperti terlihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Berdasarkan hasil tinjauan lapangan, serta hasil analisis, diperlukan penambahan jumlah sabodam. Secara keseluruhan bentuk umum sabodam di hulu sungai Rawapening bisa dikerjakan dengan sabodam tipe tertutup. Sabodam yang ada di lapangan bisa berfungsi sebagai groundsill, jembatan, ataupun untuk irigasi. Matriks keseluruhan hasil dapat kita lihat pada Tabel 7.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis potensi sedimentasi, kapasitas tampung sabodam, serta hasil sampel laboratorium, dapat diperoleh potensi lokasi penambahan sabodam pada Sub-DAS dengan potensi sedimentasi besar, yaitu Sungai Panjang, Sungai Torong/Galeh, dan Sungai Legi. Dengan memperhatikan kondisi lapangan, kebutuhan tambahan sabodam sebanyak 3 (tiga) buah sabodam di Sub-DAS Panjang, 1 (satu) buah sabodam di Sub-DAS Galeh/Torong, serta 2 (dua) buah sabodam di Sub-DAS Legi. Alasan penambahan ini karena sudah tidak memungkinkan dilakukan tindakan di lokasi sabodam lama, seperti redesain atau meninggalkan bangunan lama. Tebing-tebing sungai kiri kanan sungai memiliki ketinggian yang relatif rendah.

Pembangunan sabodam perlu memperhatikan sisi pemeliharaan, penambahan ini membutuhkan pemeliharaan rutin melalui pengerukan tampungan sabodam, hal ini berlaku untuk bangunan baru maupun lama. Apabila tanpa dilakukan pengerukan, maka tiga buah sabodam Sub-DAS Panjang akan mencapai kapasitas maksimal dalam waktu 1 (satu) tahun.

**Tabel 6** Kapasitas tampung dengan penambahan sabodam

No	Nama Sabodam	Tipe	B (baru)	H (baru)	lo	ls	lc	Panjang Sedimen		Volume				
			(m)	(m)				Statis (L1)	Dinamis (L2)	Dead Storage Volume	A1	A2	Volume Kontrol	Volume Total
			(m)	(m)				(m)	(m)	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	
1	SubDAS Panjang 20 (1)	Tertutup	20	2	0,0776	0,039	0,0259	51,55	38,66	1.030,93	51,55	12,89	258	1.289
2	SubDAS Panjang 20 (2)	Tertutup	20	2	0,0776	0,039	0,0259	51,55	38,66	1.030,93	51,55	12,89	258	1.289
3	SubDAS Panjang	Tertutup	25	2,5	0,0776	0,039	0,0259	64,43	48,32	2.013,53	80,54	20,14	503	2.517
4	SubDAS Galeh/Torong (1)	Tertutup	8	2,4	0,0425	0,021	0,0142	112,94	84,71	1.084,24	135,53	33,88	271	1.355
5	SubDAS Galeh/Torong (2)	Tertutup	8	2,4	0,0425	0,021	0,0142	112,94	84,71	1.084,24	135,53	33,88	271	1.355
6	SubDAS Legi (1)	Tertutup	10	2,5	0,1212	0,061	0,0404	41,25	30,94	515,68	51,57	12,89	129	645
7	SubDAS Legi (2)	Tertutup	10	2,5	0,1212	0,061	0,0404	41,25	30,94	515,68	51,57	12,89	129	645
8	SubDAS Parat	Tertutup	13	2,7	0,1115	0,056	0,0372	48,43	36,32	849,96	65,38	16,35	212	1.062
9	SubDAS Sragen Hulu	Tertutup	15	2,7	0,1111	0,056	0,037	48,6	36,45	984,25	65,62	16,4	246	1.230
10	SubDAS Sragen Hilir	Tertutup	15	2,7	0,1111	0,056	0,037	48,6	36,45	984,25	65,62	16,4	246	1.230
11	SubDAS Kedung Ringis	Tertutup	12	1,8	0,0269	0,013	0,009	133,83	100,37	1.445,35	120,45	30,11	361	1.807
<b>Jumlah</b>										<b>11.539,02</b>			<b>2.885</b>	<b>14.424</b>

Tabel 7 Matriks review bangunan sabodam

Uraian		Nama Sungai						Keterangan
		Sraten	Parat	Legi	Panjang	Galeh/ Torong	Kedung Ringis	
Panjang Sungai (km)		18,57	14,36	8,36	17,01	17,9	5,28	-
Tinggi Tebing Sungai (m)	Kiri	469,53	469,42	483,58	467,84	472,58	469,31	Dpal
	Kanan	470,36	469,52	182,98	467,92	472,44	469,04	Dpal
Gradasi Material Dasar (cm)	Hilir Tengah	0,029	0,069	0,02	0,03	0,015	0,17	D50
	Hulu	0,026	0,072	0,08	0,98	0,025	0,17	D50
Identifikasi Zona Angkutan Sungai	<i>Erosion Producing Zone</i>	1.919,97	1.302,09	1.616,6	986,77	991,80	636,37	Elevasi (Dpal)
	<i>Transfer Zone</i>	856,45	528,89	527,29	569,72	474,80	581,54	Elevasi (Dpal)
	<i>Deposition Zone</i>	576,2	477,98	478,41	478,66	468,04	492,31	Elevasi (Dpal)
Estimasi Potensi Volume Produksi Sedimen		5.093	19.309	4.665	19.309	12.434	423	Ton/tahun
Eksisting Sabodam	Jumlah	2	1	1	1	1	1	-
	Letak	110.462-7.318	110.445-7.33	110.43-7.326	110.414-7.267	110.368-7.282	110.465-7.3	Koordinat
	Elevasi Mercu (m)	468.75	467.87	481	465.5	471.65	466.1	Dpal
	Material Bangunan	Pasangan beton dan batu kali serta diberi tulangan						
	Tipe	Tertutup						
	Fungsi	Groundsill						
Review Sabodam	Perlu/Tidak	Perlu	Perlu	Perlu	Perlu	Perlu	Perlu	
	Alasan	Sedimentasi Danau	Sedimentasi Danau	Sedimentasi Danau, Jembatan Warga	Sedimentasi Danau Perbaikan Saluran Irigasi	Sedimentasi Danau	Sedimentasi Danau	
	Jumlah			2	3	1		
	Letak	Hilir Jembatan	Hilir Jembatan	Hilir Jembatan, Hulu Bendung	Hilir Jembatan, Hilir Bendung	Hilir Jembatan	Hilir Jembatan	
	Elevasi Mercu (m)	468,75	467,87	529,28; 522,57	635,09; 626,22; 542,95	580,93	466,1	Dpal
	Material Bangunan	Pasangan beton dan batu kali tanpa diberi tulangan						
	Tipe	Tetap tertutup						
	Fungsi	Groundsill	Groundsill	Groundsill, Jembatan	Groundsill, Jembatan, Irigasi	Groundsill	Groundsill	

Sabodam Sub-DAS Galeh/Torong yang berjumlah 2 (dua) buah akan penuh dalam waktu 2 (dua) tahun. Dua sabodam dan 1 (satu) sabodam Sub-DAS Legi serta Sub-DAS Parat berturut-turut akan penuh dalam waktu 1 (satu) tahun. Sabodam di Sub-DAS Kedung Ringis akan penuh dalam waktu 7 (tujuh) tahun. Sedangkan satu-satunya sabodam di Sub-DAS Sraten hulu dan hilir akan penuh dalam 2 (dua) tahun.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada Kepala Balai SABO Bapak Dwi Kristianto, beserta jajarannya, kepada Bapak Banata, serta kepada Kepala balai Hidrolika dan Geoteknik Keairan (BHGK) Bapak Slamet dan Ibu Nurlia beserta seluruh tim BHGK yang telah mendukung dan memberikan bimbingan dan arahnya serta seluruh tim kegiatan yang telah bekerja sama dalam pelaksanaan penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Alatorre, L., Beguería, S., & García-Ruiz, J. (2010). Regional scale modeling of hill slope sediment delivery: A case study in the Barasona Reservoir watershed (Spain) using WaTEM/SEDEM. *Journal of Hydrology* 391(1-2),109-123. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.07.010
- Apriliana, R., Rudiyantri, S., & Purnomo, P. (2014). Keanekaragaman Jenis Bakteri Perairan Dasar Berdasarkan Tipe Tutupan Permukaan Perairan di Rawa Pening. *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*, 3(2): 119-128. DOI: <https://doi.org/10.14710/marj.v3i2.5015>
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). *Desain Bangunan Penahan Sedimen*. SNI 2851-2015.
- Indrayati, A., dan Nur Izzatul H. (2018). Prediksi Sedimen Danau Rawa Pening Tahun 2020 Sebagai Dasar Reservasi Sungai Tuntang Berbasis Sistem Informasi Geografis. *Prosiding Seminar Nasional Geografi UMS IX 2018*: 543- 552. URL: <http://hdl.handle.net/11617/10340>
- Hardiyatmo, H. Christady. (2006). *Penanganan Tanah Longsor dan Erosi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2012. *Gerakan Penyelamatan Danau (GERMADAN) Rawapening*. Kementerian Lingkungan Hidup.
- Puslitbang Sumber Daya Air. 2014. *Teknologi Sabo sebagai Elemen Pengendali Banjir Lahar dalam Penataan Ruang di Kawasan Merapi*. Naskah Ilmiah Konsep Penataan Ruang Pada Kawasan Rawan Bencana Sedimen Cet. Bandung: Puslitbang Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Tidak dipublikasi
- Kusumobroto, H. (2013). *Aliran Debris dan Lahar*. Yogyakarta: MPBA Universitas Gadjah Mada.
- LIPI. (2015). Environmental Conditions and Eutrophication Status of Rawapening Lake of Central Java, Indonesia. *Proceedings of 15th world lake conference*. Science4Press, 99-102.
- Soeprobowati, T. R. (2012). *Peta Batimetri Danau Rawapening*. Bioma: Berkala Ilmiah Biologi Universitas Diponegoro.
- Suparman, dkk. (2011). *Sabo untuk Penanggulangan Bencana Akibat Aliran Sedimen*. Jakarta. Yayasan Air Adhi Eka.
- Takahashi, T. (2007). *Debris Flow, Mechanics, Prediction and Countermeasures*. London: Routledge Taylor & Francis Group.
- Van Oost, K., Govers, G., & Desmet, P. (2000). Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. *Landscape Ecology* 15, 577-589. <https://doi.org/10.1023/A:1008198215674>
- Van Rompaey, Anton, Paolo B, Robert J. A. J., & Luca Montanarella. (2005). Modeling Sediment Yields In Italian Catchments. *Elsevier Geomorphology*, 65, 157-169. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.08.006>