

PREDIKSI UMUR WADUK LOGUNG BERDASARKAN EROSI LAHAN DAN HASIL SEDIMEN

Nur Ikawati^{1*}, Djoko Legono², Bambang Yulistiyanto²

¹Magister Teknik Pengelolaan Bencana Alam, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan,
Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No.2, Depok, Sleman, Yogyakarta, Indonesia

²Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No.2, Depok, Sleman, Yogyakarta, Indonesia

*Email: nur.ikawati@ymail.com

Abstrak

Faktor utama penyebab turunnya kapasitas tampungan air Waduk Logung adalah tingginya laju sedimentasi akibat erosi lahan pada daerah hulu waduk. Oleh karena itu diperlukan kajian tentang evaluasi umur Waduk Logung berdasarkan kondisi saat ini. Penelitian ini bertujuan untuk memperkirakan umur Waduk Logung menggunakan pendekatan erosi lahan dan hasil sedimen. Erosi lahan dihitung berdasarkan model erosi Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) dengan integrasi Sistem Informasi Geografis (SIG) berbasis grid, sedangkan hasil sedimen diperkirakan menggunakan pendekatan angkutan sedimen di sungai. Analisis Sediment Delivery Ratio (SDR) menghasilkan laju sedimen yang masuk ke waduk. Volume sedimen yang mengendap diprediksi menggunakan hubungan trap efficiency dan volume berat kering sedimen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa besarnya laju erosi lahan pada DTA Waduk Logung diperoleh sebesar 1.910.421 ton/tahun. Sedangkan hasil sedimen pada DTA Waduk Logung diketahui sebesar 452.649 ton/tahun, sehingga nilai SDR pada DTA Waduk Logung sebesar 0,237. Umur efektif Waduk Logung diperkirakan hanya mampu bertahan sampai masa operasi selama 39 tahun.

Kata kunci: erosi, Logung, sedimentasi, umur waduk.

PENDAHULUAN

Faktor utama penyebab turunnya kapasitas tampungan air dari bangunan sipil terutama waduk di Indonesia adalah tingginya laju sedimentasi. Degradasi lahan oleh erosi pada daerah tangkapan air (DTA) di hulu waduk ditengarai menyumbang peranan yang penting terhadap tingginya sedimentasi tersebut. Akibatnya terjadi penurunan fungsi waduk untuk pengendalian banjir, pelayanan irigasi, air baku, pembangkit listrik, kegiatan perikanan, serta pariwisata (Joko, dkk., 2010). Upaya mitigasi perlu segera dilakukan secepatnya untuk keberlanjutan fungsi utama waduk, salah satunya Waduk Logung yang berada di Kabupaten Kudus, Jawa Tengah.

Upaya mitigasi yang dapat dilakukan adalah memperkirakan besarnya laju erosi dan sedimentasi dalam skala Daerah Aliran Sungai (DAS) pada DTA Waduk Logung. Hal ini penting dilakukan sebagai informasi sejauhmana laju erosi dan sedimentasi yang terjadi sehingga dapat diperkirakan lamanya umur waduk berdasarkan kondisi saat ini. Adanya informasi-informasi tersebut diharapkan dapat menjadi dasar pengambilan kebijakan operasi waduk dan pengelolaan lahan yang berkelanjutan.

Banyak model erosi yang dapat digunakan dalam memperkirakan besarnya laju erosi dalam skala DAS, salah satunya RUSLE yang merupakan penyempurnaan dari model USLE dan MUSLE dengan memperbaiki nilai-nilai numerik untuk masing-masing faktor. Dengan berkembangnya teknologi SIG, integrasi model erosi lahan dan SIG dapat dilakukan dengan mudah, cepat dan relatif akurat. Dengan teknologi tersebut penggunaan unit spasial yang lebih kecil berupa *grid* (raster) dianggap dapat mewakili skala lapangan.

Laju sedimentasi dapat diperkirakan dengan menggunakan besarnya total angkutan sedimen pada sungai. Apabila besarnya laju erosi lahan dan laju sedimentasi diketahui, maka nilai SDR dapat ditentukan. Pada akhirnya umur efektif waduk dapat diprediksi.

Tujuan dari penelitian ini antara lain untuk menentukan besarnya laju erosi lahan dan sedimentasi pada DTA Waduk Logung. Selanjutnya dengan informasi tersebut dilakukan prediksi umur waduk efektif yang mampu dicapai Waduk Logung dibandingkan dengan umur perencanaan.

METODOLOGI**Data**

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data curah hujan (2006-2017), data jenis tanah, citra satelit SPOT, data penggunaan lahan, peta topografi, DEM, debit rerata bulanan Sungai Logung dan gradasi butiran sedimen dasar.

Erosi Lahan

Model yang umum digunakan dalam prediksi laju erosi lahan adalah RUSLE. Laju erosi lahan dalam model RUSLE ditentukan dari keenam faktor parameter penyusun yaitu erosivitas hujan, erodibilitas tanah, panjang lereng, kemiringan lereng, tutupan tanaman dan konservasi tanah. Pada penelitian ini erosi lahan diprediksi menggunakan model RUSLE-SIG berbasis *grid* yang merupakan integrasi RUSLE pada SIG. Laju erosi lahan ditentukan dengan metode tumpang susun berbasis *grid* raster ukuran 8 x 8 m². Persamaan laju erosi lahan berdasarkan model RUSLE-SIG ditunjukkan sebagai berikut (Asdak, 2007).

$$A_i = R_i \times K_i \times LS_i \times CP_i \quad (1)$$

Dengan:

A_i	=	banyaknya erosi tanah per unit lahan (ton/ha/tahun)
R_i	=	erosivitas hujan
K_i	=	erodibilitas tanah
LS_i	=	panjang lereng dan kemiringan lereng
CP_i	=	tutupan tanaman dan konservasi tanah

Perhitungan erosi lahan menggunakan model RUSLE dapat memberikan gambaran tingkat bahaya erosi yang terjadi pada suatu DAS dimana antar DAS satu dan yang lainnya akan berbeda-beda sesuai karakteristik tiap DAS. Klasifikasi tingkat bahaya erosi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi bahaya erosi

Kelas Bahaya Erosi	Laju erosi, A (ton/ha/tahun)	Keterangan
I	< 15	Sangat ringan
II	15 – 60	Ringan
III	60 – 180	Sedang
IV	180 – 480	Berat
V	> 480	Sangat Berat

Sumber: RLT-RLKT Departemen Kehutanan (1998)

Hasil sedimen

Perhitungan hasil sedimen pada penelitian ini diperoleh melalui pendekatan jumlah total angkutan sedimen di sungai. Total angkutan sedimen yang berada di sungai merupakan hasil gabungan antara jumlah sedimen layang (*suspended load*) dan sedimen dasar (*bed load*). Angkutan sedimen layang diperkirakan menggunakan *rating curve* sedimen metode USBR (1987) seperti berikut ini.

$$Q_s = aQ_w^b \quad (2)$$

Dimana,

Q_s	=	debit sedimen (m ³ /s)
a, b	=	koefisien regresi berdasarkan data pengukuran
Q_w	=	debit air (ton/hari)

Sedimen dasar dihitung berdasarkan informasi debit bulanan rerata Sungai Logung dari AWLR Kedungmojo (2006-2016) dan gradasi butiran sedimen dasar. Pemilihan metode empiris untuk menghitung besarnya sedimen dasar berdasarkan kriteria rentang ukuran diameter sedimen

dasar hasil pengukuran, sehingga metode yang dipilih adalah Acker-White seperti berikut (Heri, 2013).

$$F_{gr} = \frac{u_*^{n_w}}{\sqrt{(s_s-1)gd}} \left[\frac{U}{\sqrt{32} \log \left(10 \frac{h_m}{d} \right)} \right]^{(1-n_w)} \quad (3)$$

$$G_{gr} = C_w \left(\frac{F_{gr}}{A_w} - 1 \right)^{m_w} \quad (4)$$

$$S_{gr, total} = G_{gr} \times U \times d \times \left(\frac{U}{u_*} \right)^{n_w} \quad (5)$$

Dengan:

h_m	=	kedalaman air (meter),
U	=	kecepatan rata-rata (m/s),
s_s	=	massa jenis partikel tanah (ton/m ³),
d	=	ukuran butir sedimen (d_{35}) (meter),
u_*	=	kecepatan geser dasar (m/s),
F_{gr}	=	parameter mobilitas partikel,
$S_{gr, total}$	=	angkutan total partikel (m ³ /s/m ²).

Sedimentasi yang terjadi di muara waduk dapat dihitung dengan pendekatan nilai SDR. Perhitungan nilai SDR menggunakan pendekatan jumlah total angkutan sedimen di sungai dibagi laju erosi rerata tahunan dari DTA Waduk Logung berdasarkan hasil RUSLE.

Perkiraan umur waduk

Perkiraan umur waduk dihitung dengan hubungan antara volume sedimen yang mengendap dengan sisa volume *dead storage* (volume tampungan mati) waduk menggunakan persamaan sebagai berikut (Dodi, 2011).

$$Vds_{T+1} = Vds_T - Te \left(\left[\frac{\gamma_T}{\gamma_{T+1}} \right] \times SDR \times A_e \times A_{ul} \right) \quad (6)$$

Dengan:

Vds_{T-1}	=	volume <i>dead storage</i> pada tahun ke - T +1
Vds_T	=	volume <i>dead storage</i> pada tahun ke - T
γ_T	=	berat volume kering pada tahun ke - T
γ_{T+1}	=	berat volume kering pada tahun ke - T+1
SDR	=	<i>Sediment Delivery Ratio</i>
A_e	=	erosi permukaan lahan (m/tahun)
A_{ul}	=	luas DTA tidak termasuk genangan waduk (m ²)
Te	=	<i>Trap efficiency</i>

Analisis *trap efficiency* menggunakan Persamaan Brune yang didasarkan pada hubungan antara rasio kapasitas dan *inflow*, dan *trap efficiency*. Sedangkan untuk besarnya berat volume kering menggunakan metode Miller (USBR, 1987) sebagai berikut.

$$W_T = W_1 + 0,4343 K_1 \left\{ \frac{T}{T-1} (\ln T) - 1 \right\} \quad (7)$$

Dimana,

W_T	=	berat volume kering rata-rata setelah T tahun operasi waduk (kg/m ³),
-------	---	---

$$W_l = \text{berat volume kering awal (kg/m}^3\text{)},$$

$$K_l = \text{konstanta yang tergantung pada operasi waduk dan jenis material sedimen}$$

Pembagian tipe operasi waduk berdasarkan klasifikasi menurut Lara dan Pamberton (1965) dalam USBR (1987) seperti pada tabel berikut ini.

Tabel 2. Klasifikasi tipe waduk berdasarkan operasinya

Tipe Waduk	Operasi waduk
1	sedimen selalu terendam atau hampir terendam
2	pada umumnya <i>draw down</i> normal
3	waduk umumnya kosong
4	sedimen dasar sungai

Sumber: Lara dan Pamberton (1965) dalam USBR (1987)

Nilai K_l dihitung berdasarkan persamaan Miller (1953) dalam USBR (1987), yaitu:

$$K_l = K_c \times P_c + K_m \times P_m + K_s \times P_s \quad (8)$$

Dengan:

$$K_c, K_m, K_s = \text{konstanta konsolidasi lempung, lumpur, dan pasir}$$

$$P_c, P_m, P_s = \text{persentase lempung (<0,004 mm), lumpur (0,004-0,0625 mm), dan pasir (0,0625-2,00 mm)}$$

Nilai konstanta konsolidasi untuk masing-masing tipe waduk dapat dilihat dalam tabel berikut.

Tabel 3. Konstanta konsolidasi K_l untuk berbagai tipe waduk

Tipe waduk	K_c	K_m	K_s
1	256	91	0
2	135	29	0
3	0	0	0

Sumber : Miller (1953) dalam USBR (1987)

Sedangkan berat volume kering awal menurut Lara dan Pamberton (1965) dalam USBR (1987).

$$W_l = W_c \times P_c + W_m \times P_m + W_s \times P_s \quad (9)$$

Dengan:

$$W_c, W_m, W_s = \text{koefisien berat volume kering lempung, lumpur, dan pasir}$$

$$P_c, P_m, P_s = \text{persentase lempung (<0,004 mm), lumpur (0,004-0,0625 mm), dan pasir (0,0625-2,00 mm)}$$

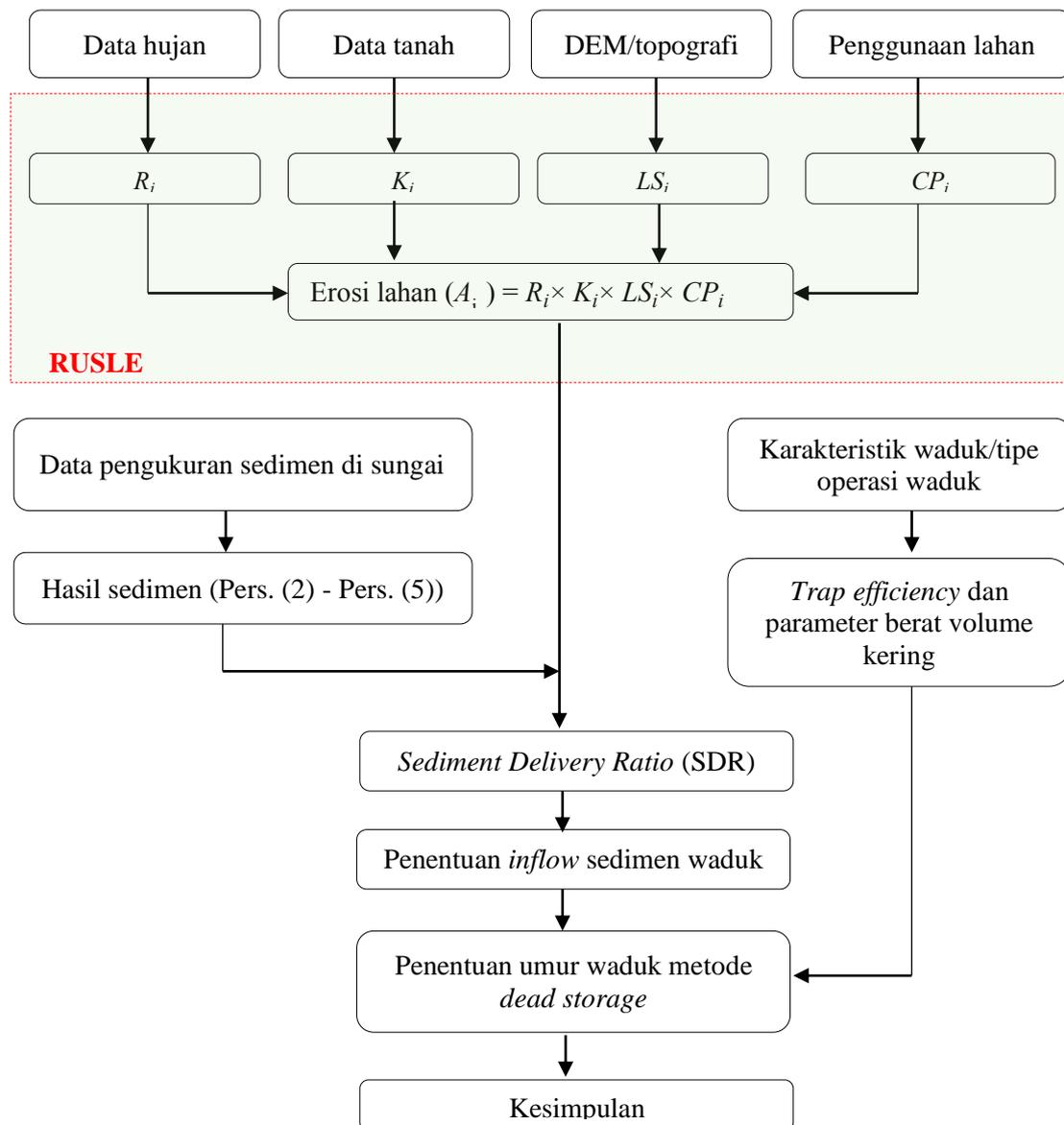
Nilai koefisien berat volume kering masing-masing ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4. Nilai koefisien untuk penentuan berat volume awal

Tipe waduk	W_c	W_m	W_s
1	416	1.120	1.550
2	561	1.140	1.550
3	641	1.150	1.550
4	961	1.170	1.550

Sumber : Lara dan Pamberton (1965) dalam USBR (1987)

Secara garis besar pelaksanaan penelitian ini dapat dilihat pada gambar berikut ini.



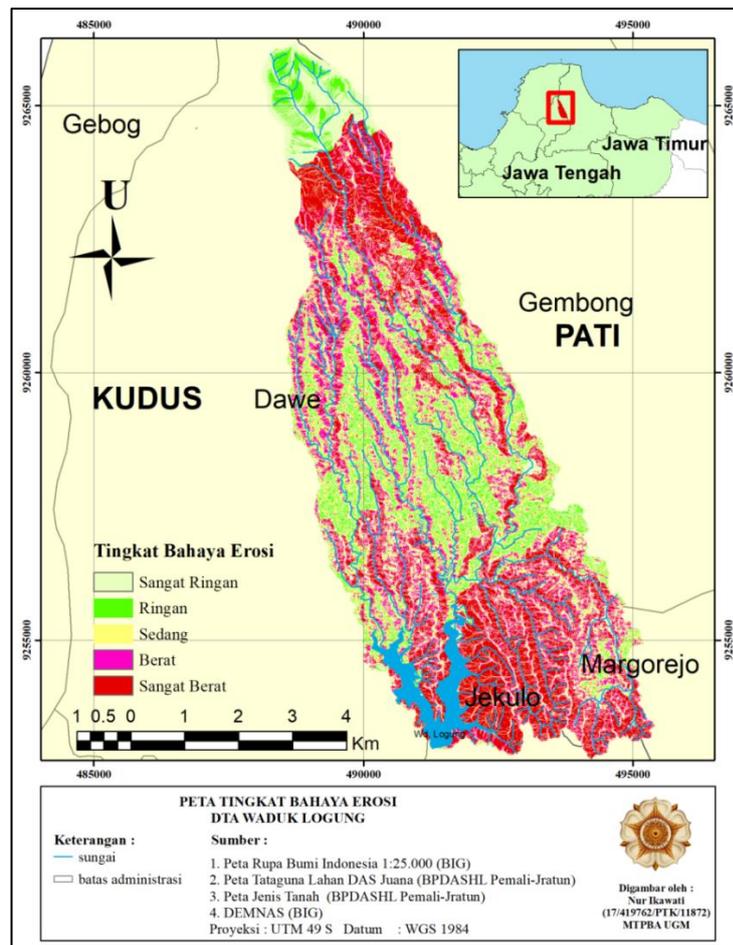
Gambar 1. Alur penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Erosi lahan

Besarnya laju erosi DTA Waduk Logung sebesar 1.910.421 ton/tahun atau 764.168,45 m³/tahun atau 16,83 mm/tahun. Secara temporal, besarnya laju erosi DTA Waduk Logung bervariasi sesuai dengan perubahan curah hujan bulanan. Untuk bulan-bulan basah (November-April) besarnya laju erosi cenderung lebih tinggi. Sedangkan pada bulan-bulan kering (Mei-Oktober) besarnya laju erosi cenderung lebih rendah.

Erosi merata tahunan untuk keseluruhan jumlah grid DTA Waduk Logung termasuk dalam kategori sangat berat (420,77 ton/ha/tahun). Hasil informasi spasial erosi disajikan dalam bentuk peta tingkat bahaya erosi yang terbagi dalam lima kelas mengacu pada Permenhut RI Nomor P.32/MENHUT-II/2009. Gambar 2 menunjukkan distribusi spasial erosi lahan pada DTA Waduk Logung. Secara spasial DTA Waduk Logung didominasi oleh kelas erosi ringan yaitu seluas 1.450 ha atau 31,93 % dari luas keseluruhan (Tabel 2).



Gambar 2. Peta sebaran erosi lahan DTA Waduk Logung

Tabel 5. Klasifikasi erosi lahan pada DTA Waduk Logung

Kelas erosi (ton/ha/tahun)	Luas (ha)	Persentase (%)
0 - 15 (sangat ringan)	1.450	31,93
15 - 60 (ringan)	483	10,63
60 - 180 (sedang)	763	16,79
180 - 480 (berat)	797	17,55
> 480 (sangat berat)	1.050	23,11
Waduk Logung	142	-

Tingginya laju erosi lahan pada DTA Waduk Logung disebabkan adanya perubahan lahan dari hutan menjadi lahan pertanian terutama ladang. Penggunaan lahan untuk ladang mendominasi hampir sekitar 40 % dari luas keseluruhan DTA. Disamping faktor penggunaan lahan, tingginya curah hujan rerata tahunan di DTA Waduk Logung juga memberi kontribusi terhadap tingginya erosi lahan. Faktor topografi yang berbukit-bukit dan sebaran jenis tanah pada DTA Waduk Logung juga menyebabkan tingginya erosi lahan. Tingginya laju erosi lahan berkorelasi negatif dengan tutupan lahan dan tutupan tanah, tetapi akan berkorelasi positif terhadap curah hujan dan kelerengan (Nearing, 2005 dan Ollie, 2018).

Hasil sedimen

Hasil sedimen pada DTA Waduk Logung dihitung menggunakan pendekatan angkutan sedimen pada sungai. Hal ini dilakukan karena tidak adanya data pengukuran sedimen pada Waduk Logung. Angkutan sedimen layang dihitung menggunakan *rating curve* sedimen seperti berikut.

$$Q_s = 4,51 Q_w^{0,92}$$

Sedangkan untuk angkutan sedimen dasar pada sungai dihitung menggunakan Persamaan (3) sampai Persamaan (5) seperti yang telah disampaikan sebelumnya. Besarnya angkutan sedimen total merupakan hasil penjumlahan sedimen layang dan sedimen dasar, yang diperoleh sebesar 452.649 ton/tahun atau 181.059 m³/tahun.

Sehingga dengan nilai hasil angkutan total sedimen dan erosi lahan yang diketahui, besarnya SDR pada DTA Waduk Logung diperoleh sebesar 0,237 yang berarti bahwa dengan adanya erosi lahan sebesar 1.910.421 ton/tahun, sedimen hasil yang mampu sampai ke Waduk hanya sebesar 23,70% dari jumlah erosi atau setara 452.649 ton/tahun.

Perkiraan umur waduk

Persentase rata-rata butiran sedimen pada Sungai Logung terdiri dari lempung : 0%, lumpur: 0,48%, pasir: 78,92%, dan kerikil: 20,60%. Dari informasi persentase tersebut digunakan untuk menghitung berat volume kering menggunakan metode Miller (USBR, 1987).

Berat volume kering awal (W_1)

Untuk menentukan berat volume kering awal diperlukan data-data koefisien W_c , W_m , dan W_s sesuai dengan tipe operasi Waduk Logung yaitu tipe 1 (sedimen selalu terendam atau hampir terendam). Dari tabel koefisien konstanta (Tabel 4) dengan tipe waduk 1 diperoleh nilai W_c , W_m , dan W_s masing-masing sebesar 416, 1.120, dan 1.550. Berat volume kering awal dihitung menggunakan Persamaan (9) sampai diperoleh nilai sebesar 1.228,64 kg/m³.

Faktor konstanta konsolidasi (K_1)

Untuk menentukan konstanta konsolidasi material sedimen diperlukan data-data koefisien K_c , K_m , dan K_s sesuai dengan tipe operasi Waduk Logung yaitu tipe 1 (sedimen selalu terendam atau hampir terendam). Dari tabel koefisien konsolidasi (Tabel 3) dengan tipe waduk 1 diperoleh nilai K_c , K_m , dan K_s masing-masing sebesar 256, 91, dan 0. Nilai konstanta konsolidasi dihitung menggunakan Persamaan (8), maka diperoleh sebesar 0,44.

Berat volume kering pada T tahun operasi

T 1 tahun merupakan lamanya operasi yang ditinjau sedangkan T 50 tahun merupakan umur rencana Waduk Logung. Besarnya berat volume kering setelah 1 tahun operasi dihitung dengan Persamaan (7) diperoleh sebesar 1.228,64 kg/m³, sedangkan setelah 50 tahun operasi beratnya sebesar 1.229,20 kg/m³.

Umur Waduk Logung

Dengan nilai SDR sebesar 0,237 dan erosi lahan sebesar 764.168 m³/tahun, maka besarnya sedimen yang masuk ke Waduk Logung diperkirakan sebesar 181.059 m³/tahun. *Inflow* tahunan Waduk Logung sebesar 64.492.185 m³/tahun, sedangkan kapasitas waduk adalah 20.150.000 m³/tahun. Sehingga perhitungan *trap efficiency* yang diperoleh menggunakan metode Brune sebesar 0,92. Maka perkiraan umur Waduk Logung menggunakan Persamaan (6) diperoleh umur Waduk Logung selama 39 tahun dari awal operasi dengan asumsi kondisi saat ini dan tidak ada upaya pengendalian erosi dan sedimentasi. Umur tersebut jauh lebih cepat daripada umur rencana yaitu 50 tahun.

Waduk Logung merupakan waduk serbaguna dan merupakan satu-satunya waduk yang berada di sungai Logung dalam rangka konservasi air saat musim kemarau dan pengendalian banjir saat musim penghujan. Sehingga adanya sedimentasi merupakan suatu masalah yang sangat serius. Mempertimbangkan hal tersebut, perlu segera upaya penanganan dan mitigasi, baik secara vegetatif melalui konservasi lahan ataupun teknis untuk pengendalian erosi dan sedimentasi pada DTA Waduk Logung.

KESIMPULAN

Laju erosi pada DTA Waduk Logung berdasarkan hasil penelitian diperoleh sebesar 1.910.421 ton/tahun atau 764.168,45 m³/tahun atau 16,83 mm/tahun. Sedangkan hasil sedimen pada DTA Waduk Logung dengan pendekatan angkutan sedimen di sungai diketahui sebesar 452.649 ton/tahun atau 181.059 m³/tahun. Umur efektif Waduk Logung diperkirakan hanya mampu bertahan sampai masa operasi selama 39 tahun (dari awal operasi). Dengan kondisi tersebut, penanganan erosi dan sedimentasi di DTA Waduk Logung sangat perlu segera dilakukan baik secara vegetatif ataupun teknis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada BBWS Pemali Juana, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Dinas Pekerjaan Umum Sumber Daya Air dan Tata Ruang Provinsi Jawa Tengah, dan Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Hutan Lindung Pemali Jragung, Kementerian Kehutanan dan Lingkungan Hidup atas dukungan dan bantuan data sekunder guna menunjang terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, S., 1989. *Konservasi Tanah dan Air*, IPB-Press: Bogor.
- Asdak, C., 2007. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Cetakan Keempat, Universitas Gadjah Mada-Press: Yogyakarta.
- Bambang Agus Kironoto, 1997. Diktat kuliah hidraulika transpor sedimen. Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Bambang Agus Kironoto, 2000. Sedimentasi waduk. Diktat Kuliah. Departemen Teknik Sipil & Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Dodi Suryanto, 2011. Kajian sedimentasi Waduk Ir. H. Juanda, Jatiluhur, *Tesis*, Program Studi Magister Pengelolaan Bencana Alam, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Ganasri, B., P., dan Ramesh, H., 2016, Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin, *Geoscience Frontiers*, 7, 953-961.
- Heri Santosa, 2013. Kajian pengaruh kegiatan normalisasi, perkuatan tanggul, dan kolam retensi bagi penurunan risiko banjir Sungai Juana di Kabupaten Pati dan Kabupaten Kudus Jawa Tengah, *Tesis*, Program Studi Magister Pengelolaan Sumber Daya Air, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Joko Sutrisno, Bunasor Sanim, Asep Safuddin, Sitorus, S., R., P., 2010. Prediksi erosi dan sedimentasi di Sub Daerah Aliran Sungai Keduang Kabupaten Wonogiri. *Media Konservasi*. Vol 16., No.2, 78-86.
- Jothiprakash, V. & Garg, V., 2008a, Estimation of useful life of a reservoir using sediment trap efficiency, *Journal of Spatial Hydrology*, Vol. 8, No. 2 Fall, 14.
- Jothiprakash, V. & Garg, V., 2008b, Trap efficiency estimation of a large reservoir, *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 14(2), 88-101.
- Jothiprakash, V. & Garg, V., 2008c, Re-look to conventional techniques for trapping efficiency estimation of a reservoir. *International Journal of Sediment Research*, 28, 78-84.
- Merritt, W., S., Lecher, R., A., dan Jakeman, A., J., 2002. A review of erosion and sediment transport models. *Environmental Modelling & Software*, 18, 761-799.
- Nearing, M. A., Jetten, V., Baffaut, C., Cerdan, O., Couturier, A., Hernandez, M., Bissonnais, Y. L., Nichols, M. H., Nunes, J. P., Renschler, C. S., Souchere, V., dan Oost, V., 2005. Modeling response of soil erosion and runoff to changes in precipitation and cover, *Catena*, 61, 131-154.
- Olii, M. R., 2018. Model *Sediment Delivery Ratio* untuk Daerah Aliran Sungai, *Desertasi*, Departemen Teknik Sipil & Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- USBR, 1987. *Design of Small Dams, Third Edition*, U.S. Government Printing Office: Washington, DC.