

UPAYA KONSERVASI WADUK SELOREJO BERDASARKAN PERKEMBANGAN PETA PENGGUNAAN LAHAN DALAM KURUN WAKTU TAHUN 2000–2011

Rendra Arif Yudianto¹, Ery Suhartanto², Widandi Soetopo²

¹Mahasiswa Program Magister Teknik Pengairan Universitas Brawijaya, Malang, Jawa Timur, Indonesia;
rdr_wre@yahoo.co.id

²Pengajar, Program Studi Magister Sumber Daya Air, Teknik Pengairan Universitas Brawijaya, Malang, Jawa Timur, Indonesia

Abstrak: Waduk Selorejo merupakan salah satu waduk yang dikelola oleh Perum Jasatirta I. Waduk Selorejo direncanakan dengan usia guna efektif 50 tahun, dan sampai dengan tahun 2011 (data terakhir sebagai acuan) waduk ini telah beroperasi selama 38 tahun. Studi ini dilakukan untuk mengetahui besarnya inflow sedimen yang masuk ke waduk, berapa usia guna Waduk Selorejo yang tersisa dari besarnya inflow sedimen tersebut, serta upaya konservasi yang dilakukan untuk mempertahankan usia efektif waduk. Pendugaan laju erosi dihitung dengan pendekatan model AVSWAT 2000 dan menghitung usiaguna Waduk digunakan rumus empiris menurut Linsley. Hasil dari studi ini adalah dari pendekatan empiris dengan efisiensi jerat metode *Brunne* diperoleh sisa usiaguna waduk 10.99 tahun (dari 12 tahun sisa usiaguna efektif waduk), pendekatan empiris dengan efisiensi jerat metode *Churchill* diperoleh sisa usiaguna waduk 17.66 tahun. Berdasarkan perhitungan empiris dengan trap efisiensi metode *Brunne* umur efektif waduk tidak tercapai, dari ketiga alternatif penanganan konservasi waduk dengan jangka pendek mampu mereduksi sedimen per tahunnya sebesar 85.55% dengan biaya pelaksanaan 5,05 milyar, untuk jangka menengah mampu mereduksi sedimen per tahunnya 4.03% dengan biaya pelaksanaan dan OP 12,2 milyar dan jangka panjang mampu mereduksi sedimen per tahunnya 63.9%. Berdasarkan prosentase reduksi sedimen, rencana anggaran biaya, serta manfaat langsung yang dapat dirasakan maka diambil alternatif jangka pendek sebagai skala prioritas penanganan waduk.

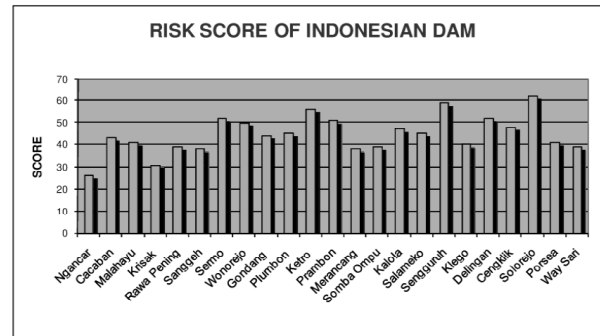
Kata Kunci: AVSWAT 2000, Usiaguna Waduk, Konservasi.

Abstract: Selorejo Reservoir is managed by the Perum Jasatirta I. Selorejo reservoir was planned for 50 years in effective usage. By the end year of 2010 this reservoir has been operated for 38 years. This study was conducted to determine the amount of sediment inflow into the reservoir; how many year the effective usage of Selorejo reservoir is still remain, and the conservation efforts are made to maintain the effective usage of the reservoir. The Estimation of erosion rates is calculated by the AVSWAT 2000's model approach and calculate the Reservoir's effective by the Linsley empirical equation. With the Brunne efficiency trap method obtained the rest of reservoir effective usage is about 10.99 years (from 12 years rest of the Reservoir effective usage). Another empirical approach with the Churchill efficiency trap method obtained the rest of reservoir effective usage is about 17.66 years. Based on the Brunne efficiency trap method calculation, the Reservoir effective usage can not reached. short-term Reservoir conservation effort can reduce the sediment about 85.55 % each year with 5.05 billion in cost, the medium term can reduce the sediment about 4.03 % each year with 12.2 billion in implementation and OM cost, and the long-term can reduce the sediment 63.9 % each year. Based on the percentage of sediment reduction, the budget plan costs, and the direct benefits that can be perceived, so the short-term alternative can be used as the priority for reservoir management.

Keywords: AVSWAT 2000, Reservoir's effective time, Conservation.

Wilayah Waduk Selorejo secara administratif berada pada propinsi Jawa Timur, Kabupaten Malang dan tepatnya berada pada Kecamatan Ngantang, Desa Selorejo. Bendungan ini mulai berfungsi sejak tahun 1972 dan telah memberikan banyak manfaat sebagai pengendali banjir, pembangkit listrik, pengairan serta manfaat lainnya seperti perikanan dan pariwisata. Selama ini waduk selorejo telah beroperasi selama 38 tahun sejak awal beroperasi tahun 1972 sampai dengan tahun 2010.

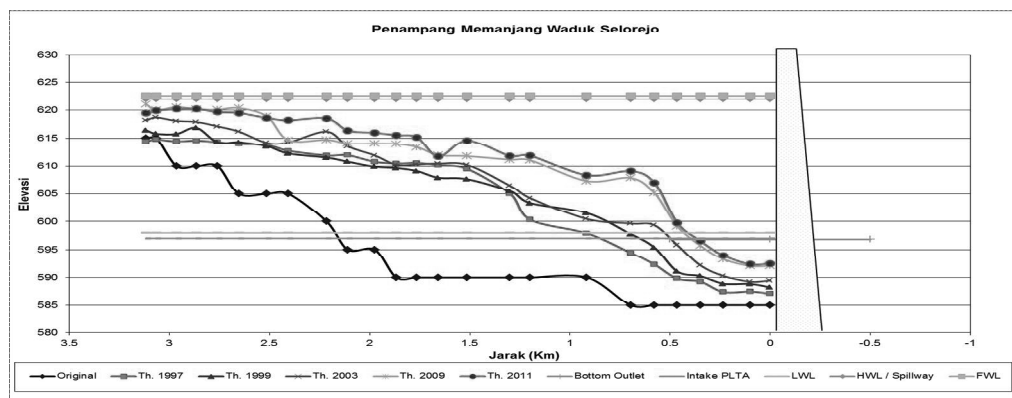
Berdasarkan dari laporan *Project Implementation Plan For Dam Operation and safety project* (DOISP) tahun 2008, dijelaskan bahwa berdasarkan penilaian terhadap kapasitas eksisting volume tampungan bendungan, ketinggian bendungan, persyaratan evakuasi terhadap kerusakan bendungan, potensi kerusakan daerah hulu, catatan historis terhadap jadwal pemeliharaan bendungan, kapasitas jagaan banjir, dan stabilitas struktur bendungan terhadap potensi gempa bumi yang terjadi dihasilkan skor tingkat resiko kerusakan paling tinggi adalah Bendungan Selorejo (anonim, 2008). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik berikut:



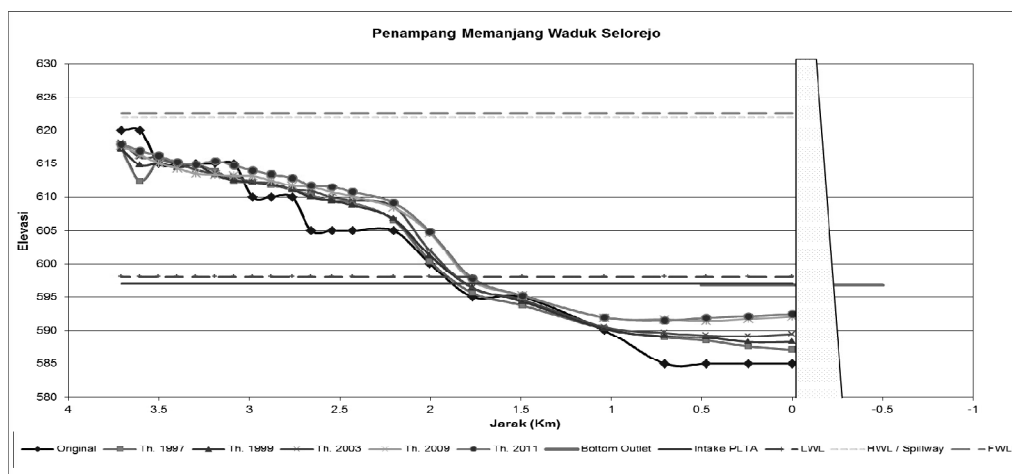
Gambar 1. Grafik Penilaian Resiko Bendungan di Indonesia.

Berdasarkan hasil pengukuran *echosounding* yang telah dilakukan oleh pihak yang berwenang mengelola waduk selorejo yaitu Perum. Jasatirta I, terjadi pendangkalan dasar waduk akibat besarnya sedimen yang masuk ke waduk.

Berdasarkan permasalahan ini, maka dibutuhkan kajian khusus guna mengetahui berapa sisa umur efektif waduk berdasarkan tampungan mati saat ini (2011) dan inflow sedimen saat ini sehingga nantinya bisa dilakukan upaya penanggulangan jika waduk mengalami degradasi usia efektif.



Gambar 2. Grafik Perkembangan Profil Memanjang Dasar Waduk Selorejo (Konto)



Gambar 3. Grafik Perkembangan Profil Memanjang Dasar Waduk Selorejo (Kwayangan)

Adapun permasalahan khusus yang di tinjau dalam penelitian ini adalah: (1) Tinjauan mengenai besarnya inflow sedimen rata-rata yang masuk ke waduk berdasarkan peta penggunaan lahan tahun 2011; (2) Sisa usia efektif Waduk Selorejo setelah 38 tahun beroperasi (dengan data terakhir tahun 2011); (3) Upaya konservasi yang harus dilakukan untuk mempertahankan usia efektif Waduk Selorejo.

Ketiga tinjauan ini dapat dijadikan acuan dalam upaya konservasi atau pemeliharaan waduk selorejo.

LANDASAN TEORI

Analisa awal dari penelitian ini adalah memprediksi besarnya sedimen rata-rata pertahun yang masuk ke waduk. Dengan menggunakan bantuan model simulasi AVSWAT 2000, landasan teori yang digunakan dalam simulasi AVSWAT 2000 adalah sebagai berikut (*SWAT Theoretical Documentation, 2002*):

$$\text{sed} = \frac{11.8 \cdot (Q_{\text{surf}} \cdot q_{\text{peak}} \cdot \text{area}_{\text{hru}})^{0.56} \cdot K_{\text{USLE}}}{C_{\text{USLE}} \cdot P_{\text{USLE}} \cdot LS_{\text{USLE}} \cdot \text{CFRG}} \quad (1)$$

dimana:

sed = hasil sedimen per hari (ton)

Q_{surf} = volume aliran limpasan permukaan (mm/ha)

q_{peak} = debit puncak limpasan (*peak runoff rate*) (m^3/dtk)

area_{hru} = luas hru (*hydrologic response unit*) (ha)

K_{USLE} = faktor erodibilitas tanah USLE

C_{USLE} = faktor (pengelolaan) cara bercocok tanam USLE

P_{USLE} = faktor praktek konservasi tanah (cara mekanik) USLE

LS_{USLE} = faktor topografi USLE

CFRG = faktor pecahan batuan kasar

Volume aliran limpasan permukaan dicari dengan menggunakan rumus (*SWAT Theoretical Documentation, 2002*):

$$Q_{\text{surf}} = \frac{(R_{\text{day}} - I_a)^2}{(R_{\text{day}} - I_a + S)} \quad (2)$$

$$I_a = 0.2 \cdot S \quad (2.1)$$

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (2.2)$$

dimana:

I_a = Abstraksi awal (*initial abstraction*)

Q_{surf} = Kedalaman hujan berlebih (*accumulated runoff/rainfall excess*) (mm)

R_{day} = Kedalaman hujan harian (mm)

S = Volume dari total simpanan permukaan (*re-tention parameter*) (mm)

CN = bilangan kurva air larian, bervariasi dari 0 hingga 100.

Debit puncak limpasan diperoleh dari persamaan (*SWAT Theoretical Documentation, 2002*) :

$$q_{\text{peak}} = \frac{\alpha_{tc} \cdot Q_{\text{surf}} \cdot \text{Area}}{3.6 \cdot t_{\text{conc}}} \quad (3)$$

dimana:

q_{peak} = debit puncak limpasan (*peak runoff rate*) (m^3/dtk)

α_{tc} = fraksi curah hujan harian yang terjadi selama waktu konsentrasinya

Area = luas wilayah sub DAS (km^2)

t_{conc} = waktu konsentrasi di *subbasin* (jam)

3,6 = faktor konversi

Penentuan tingkat bahaya erosi didapat dengan mengkombinasikan (*overlay*) peta laju erosi dengan peta kedalaman solum tanah, kemudian dinilai berdasarkan tabel berikut:

Tabel 1. Klasifikasi Tingkat Bahaya Erosi

Erosi	Kelas Bahaya Erosi (ton/ha/tahun)				
	I (<15)	II (15-60)	III (60-180)	IV (180-480)	V (>480)
Solum tanah (cm)					
A. Dalam (>90)	SR	R	S	B	SB
B. Sedang (60-90)	R	S	B	SB	SB
C. Dangkal (30-60)	SR	B	SB	SB	SB
D. Sangat dangkal (<30)	B	SB	SB	SB	SB

Sumber : Utomo, WH, 1994; 59

Keterangan :

SR = Sangat Ringan

R = Ringan

S = Sedang

B = Berat

SB = Sangat Berat

Untuk menghitung usiaguna waduk digunakan rumus empiris menurut *Linsley*, dengan rumus sebagai berikut:

$$T = V / (L \cdot S \cdot E) \quad (4)$$

Dengan:

T = Usia guna waduk (tahun)

V = Volume tampungan mati (m^3)

L = Luas DAS (km^2)

S = Intensitas erosi = V_s/L

V_s = Volume sedimen rata-rata yang masuk ke waduk (m^3/tahun)

$$= W_s / \gamma_s$$

W_s = Berat sedimen rata-rata yang masuk ke waduk (ton/tahun)

γ_s = Berat volume endapan sedimen (ton/ m^3)

E = Efisiensi tangkapan waduk (%)

METODE PENELITIAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari instansi terkait. Data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini antara lain: (1) Data hujan harian pada stasiun-stasiun terdekat tahun 2000–2011; (2) Data klimatologi (temperatur) tahun 2000–2011; (3) Data debit inflow waduk tahun 2000–2011; (4) Data suspended load tahun 2000–2011; (5) Peta topografi bakosurtanal 1 : 25.000; (6) Peta penggunaan lahan tahun 2000 dan 2011; (7) Peta jenis tanah; (8) Peta kedalaman solum tanah; (9) Data lengkung kapasitas waduk tahun 2011; (10) Data perubahan profil memanjang dasar waduk.

Tahapan metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: tahapan analisis dimulai dengan pembuatan *DEM* (*Digital Elevation Model*) yang diolah dari data topografi. Setelah *DEM* terbentuk, selanjutnya *DEM* di *convert* kedalam *GRID* dengan ukuran 25 x 25 m. Langkah selanjutnya merubah koordinat ke dalam UTM WGS 84 Zona 49 S. Tahapan selanjutnya adalah membuat batas daerah aliran waduk pada proses *watershed delineation*.

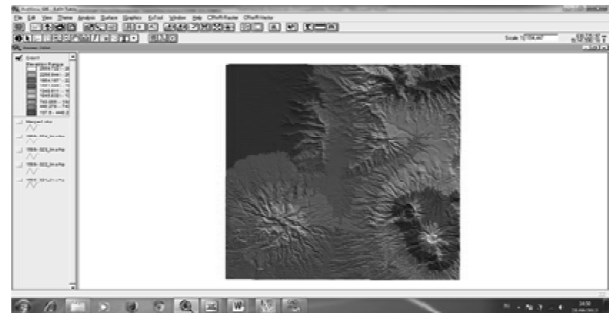
Setelah batas daerah aliran waduk selesai, langkah selanjutnya adalah proses running AVSWAT, yang diawali dengan pengisian database pada proses *landuse definition* serta *soil definition*. *HRU* (*hidrologi response unit*) *distribution* dipilih *multiple hydrologic response units* dengan prosentase *soil use* dan *soil class* 0%. Pengisian data seperti pengisian *weather data definition* (lokasi stasiun klimatologi), *write all* (*configuration file, soil data, weather generation data, HRU general data, main channel data, groundwater data, wateruse data, management data, soil chemical data, pond data, stream water quality data*).

Proses kalibrasi dengan mengubah parameter-parameter pada *edit input subbasin* data, parameter diubah ubah disesuaikan kondisi lapangan. Indikator simulasi sudah mendekati kondisi di lapangan adalah kesesuaian nilai debit inflow dan konsentrasi sedimen model dengan debit inflow dan konsentrasi sedimen hasil pengukuran lapangan.

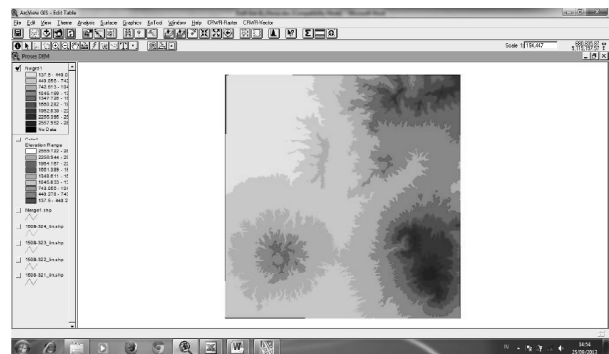
Pembuatan peta tingkat bahaya erosi berdasarkan nilai laju erosi lahan dengan kedalaman solum tanah. Perhitungan sisa usia efektif waduk dengan menggunakan efisiensi tangkapan sedimen metode *Brunne* dan *churchill*. Usulan upaya konservasi waduk berdasarkan besarnya erosi yang terjadi. Perhitungan rencana anggaran biaya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

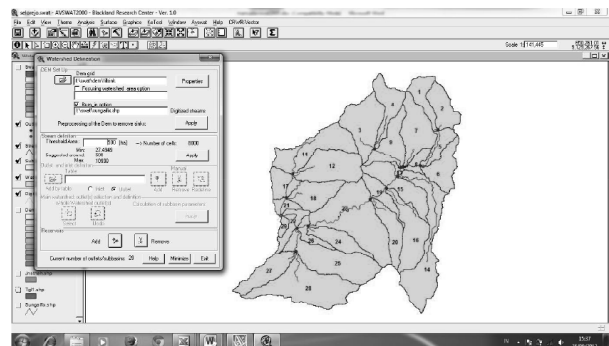
Hasil penelitian dan pembahasan diperoleh hasil sebagai berikut: proses pembuatan peta *DEM* diproses dari peta dasar berupa peta topografi dengan nomor lembar 1508-321, 1508-322, 1508-323, 1508-324. Setelah di filter layer yang diperlukan untuk proses *DEM*, kemudian file drawing ini diubah ke dalam format **.shp* dengan menggunakan bantuan software *cad2shape* 1.0. selanjutnya dilanjutkan dengan proses *DEM* dengan bantuan *extention 3D analysis*.



Gambar 4. Tampilan Proses DEM.

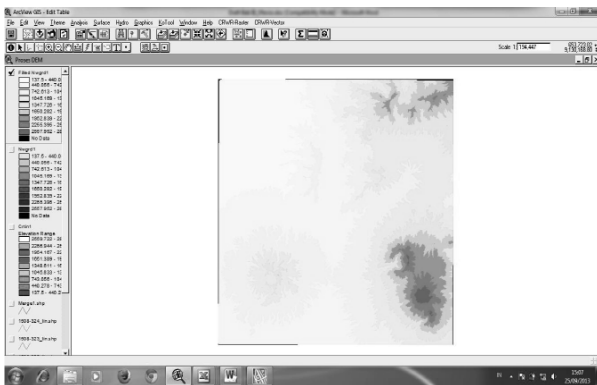


Gambar 5. Tampilan proses konversi TIN ke dalam format GRID.

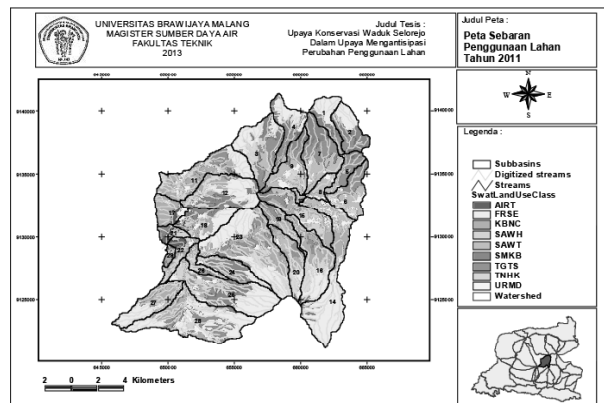


Gambar 6. Tampilan proses *fillshinks* dari data GRID.

Pembuatan batas daerah aliran waduk, batas ini dibuat dengan bantuan *Arcview* 3.3 dengan *extention* AVSWAT-2000



Gambar 7. Tampilan hasil pendefinisian DTW dan subbasin.

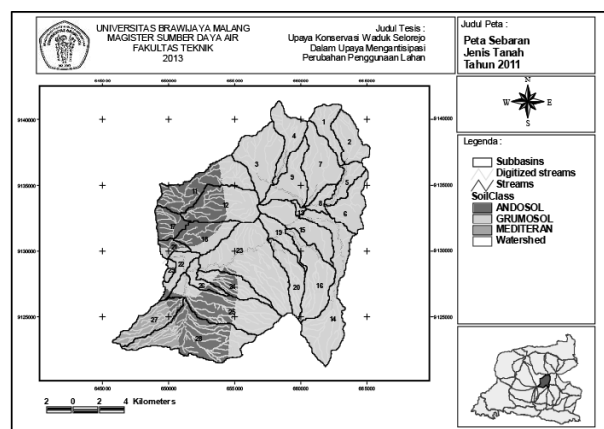


Gambar 8. Peta sebaran penggunaan lahan DTW Selorejo.

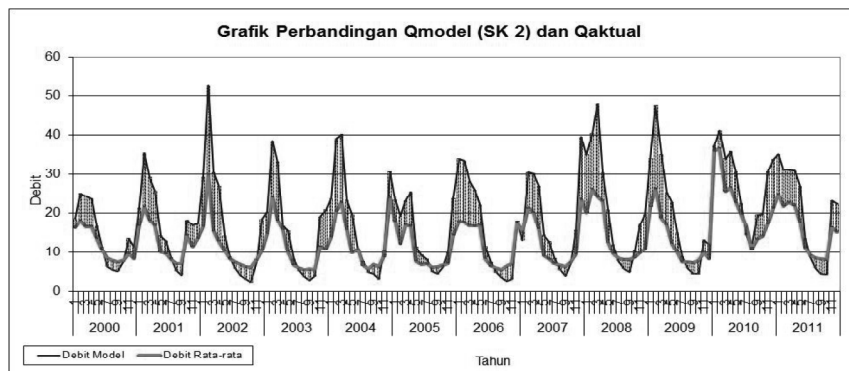
Proses AVSWAT diperlukan data penggunaan lahan, data jenis tanah, data hujan harian, data lokasi stasiun hujan dan klimatologi, data temperatur. Untuk data kelembaban relatif, radiasi sinar matahari dan kecepatan angin tidak dimasukkan, dikarenakan ketersediaan data kurang lengkap. Namun demikian program ini mampu membangkitkan ketiga data tersebut mengacu pada data statistik yang telah dibuat.

Setelah input data selesai, proses running bisa dilakukan dengan periode waktu running mulai dari Januari 2000 sampai dengan Desember 2011.

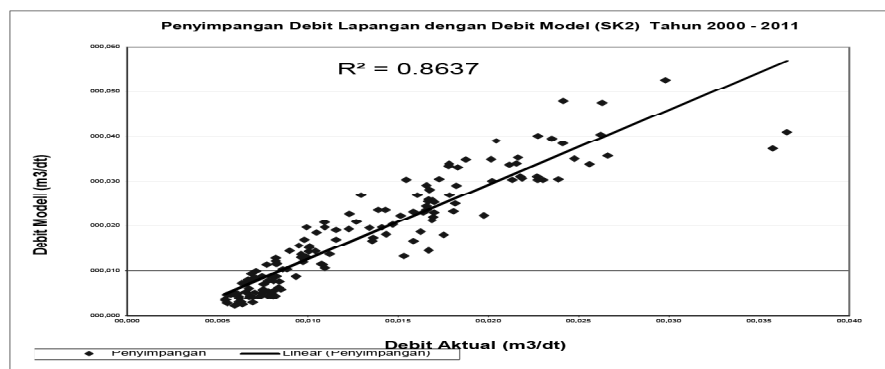
Proses kalibrasi dilakukan dengan membandingkan debit inflow model dan sedimen terkonsentrasi model dengan data pengamatan di lapangan.



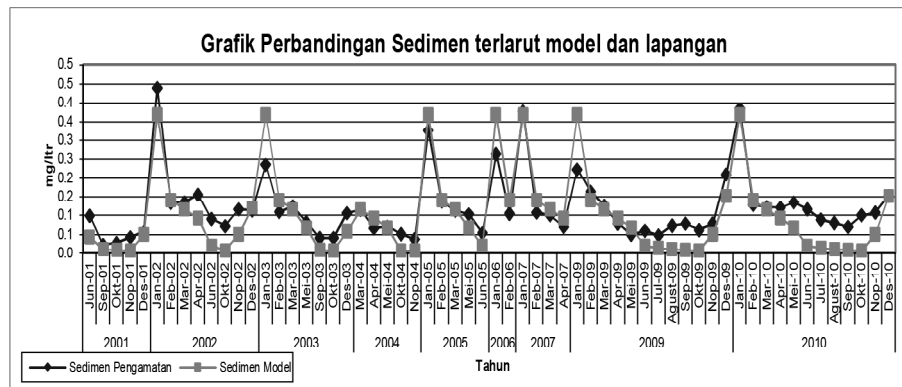
Gambar 9. Peta sebaran jenis tanah DTW Selorejo.



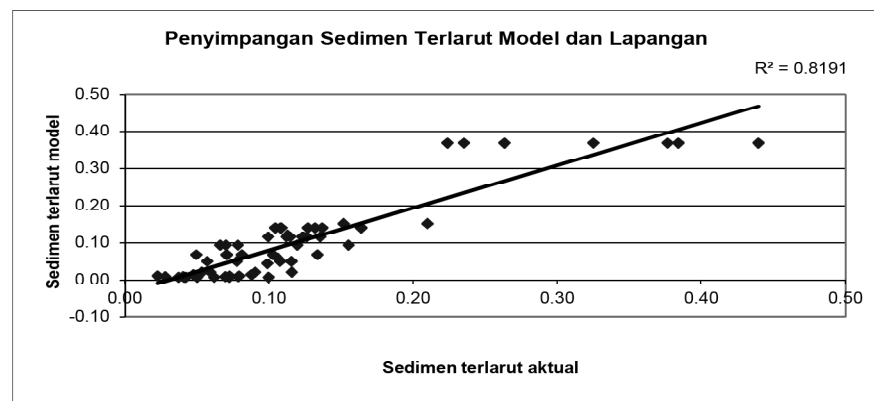
Gambar 10. Grafik perbandingan debit inflow model dengan debit inflow pengamatan tahun 2000-2011.



Gambar 11. Grafik uji korelasi analisa regresi tahun 2000-2011.



Gambar 12. Grafik hubungan Sedimen Terlarut Model dengan Lapangan 2000-2011.



Gambar 13. Grafik hubungan Sedimen Terlarut Model dengan Lapangan 2000-2011.

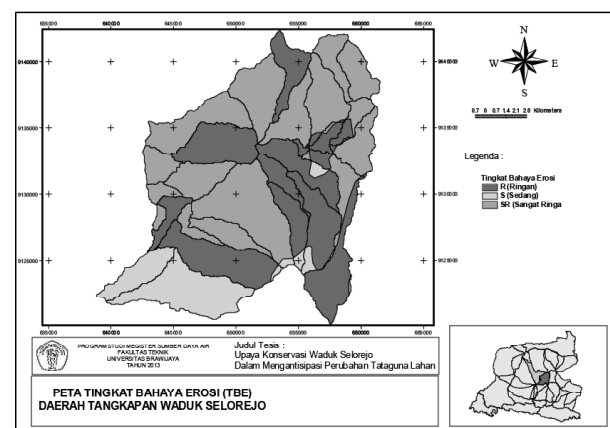
Pengklasifikasian tingkat bahaya erosi dilakukan dengan *overlay* peta laju erosi dengan peta kedalaman solum tanah. Standart pengklasifikasian sesuai dengan tabel klasifikasi menurut Utomo, WH, 1994; 59

Tabel 2. Inflow sedimen waduk rata-rata per tahun (subbasin 29)

Sub Basin	Rata-rata		Sub Basin	Rata-rata	
	ton/ha/thn	mm/tahun		ton/ha/thn	mm/tahun
1	5.53	0.46	16	6.63	0.55
2	5.24	0.44	17	36.03	3.00
3	17.74	1.48	18	27.97	2.33
4	5.51	0.46	19	3.40	0.28
5	6.62	0.55	20	6.97	0.58
6	6.54	0.54	21	28.55	2.38
7	6.22	0.52	22	12.35	1.03
8	5.37	0.45	23	6.16	0.51
9	5.54	0.46	24	15.22	1.27
10	2.01	0.17	25	20.11	1.68
11	32.05	2.67	26	19.03	1.59
12	30.09	2.51	27	122.07	10.17
13	3.07	0.26	28	68.44	5.70
14	4.46	0.37	29	5.99	0.50
15	4.71	0.39			

Sumber : Hasil Analisa AVSWAT 2000

Berdasarkan hasil inflow rata-rata per tahun dan nilai kedalaman solum tanah pada daerah tangkapan waduk selorejo, maka diperoleh nilai tingkat bahaya erosi yang mengacu pada tabel klasifikasi menurut Utomo, WH, 1994; 59



Gambar 14. Peta tingkat bahaya erosi daerah tangkapan waduk Selorejo.

Perhitungan usiaguna waduk dihitung dengan metode empiris menurut Linsley, sedangkan efisiensi tangkapan waduk digunakan metode *Brunne* dan *churchill*.

Dengan menggunakan efisiensi tangkapan sedimen metode *churchill* usia efektif waduk masih aman yaitu lebih dari 12 tahun, sedangkan untuk efisiensi tangkapan waduk metode *Brunne* diperoleh sisa usia efektif waduk kurang dari 12 tahun. Hal ini mengindikasikan adanya degradasi usia efektif wa-

Tabel 3. Perhitungan usiaguna waduk.

E	Y _d Ton/m ³	W _s Ton/tahun	V _s (W _s /Y _d)	L m ²	S m	V m ³	T (Tahun)
98.0	1.200	134663.3	112219.39	235459000	0.0004766	1208728.46	10.99
61.0	1.200	134663.3	112219.39	235459000	0.0004766	1208728.46	17.66

Sumber : Perhitungan

duk, sehingga perlu upaya konservasi waduk untuk mengembalikan usia efektif waduk.

Berdasarkan manfaat langsung yang bisa dirasakan upaya konservasi waduk dibagi menjadi 3, yaitu: (a) Upaya jangka pendek: Kegiatan yang dilakukan adalah pengerukan sedimen waduk dengan *dredger*. Besarnya pengerukan sedimen minimal adalah 11.323,5 ton/tahun sedangkan kemampuan dredger dalam satu tahun mengeruk sedimen adalah 115.200 ton/tahun atau 85,55% dari inflow sedimen pertahunnya; (b) Upaya jangka menengah: Kegiatan yang dilakukan adalah dengan membangun checkdam pada 7 lokasi dengan nilai TBE tertinggi (sedang). Dari kegiatan ini volume sedimen yang mampu di reduksi hanya 5.432,7 ton/tahun atau 4.03% dari inflow sedimen per tahunnya; (c) Upaya jangka panjang: Kegiatannya adalah dengan penataan kawasan berdasarkan peta fungsi kawasan dan peta penggunaan lahan eksisting.

Tabel 4. Penentuan arahan penggunaan lahan.

No	Penggunaan lahan eksisting	Arahan Penggunaan Lahan
1	Air tawar / Waduk	Tetap
2	Hutan	Tetap
3	Kebun campuran	Dikembalikan ke fungsi Kawasan
4	Ladang	Dikembalikan ke fungsi Kawasan
5	Pemukiman	Tetap
6	Sawah irigasi	Tetap
7	Sawah tadah hujan	Tetap
8	Semak belukar	Dikembalikan ke fungsi Kawasan
9	Tanah Kosong	Dikembalikan ke fungsi Kawasan

Tabel 5. Rekap Rencana Anggaran Biaya.

No	Uraian Pekerjaan	Jumlah Harga
1	Pembuatan Checkdam (7 Lokasi)	12,151,300,000
2	Pemeliharaan Checkdam (tahunan)	34,800,000
3	Pengerukan Sedimen (Dredging)	5,059,200,000
Jumlah		17,245,300,000
Pembulatan		17,245,300,000
Terbilang :		
# Tujuh Belas Milyar Dua Ratus Empat Puluh Lima Juta Tiga Ratus Ribu Rupiah#		

Sumber: Hasil Analisa

Dari kegiatan ini diperoleh nilai reduksi sedimen 86.167,91 ton/tahun atau sebesar 63.99 % dari inflow sedimen rata-rata tiap tahun. Upaya ini perlu waktu dalam implementasinya, serta manfaatnya baru dapat di rasakan setelah minimal 10 tahun kemudian.

Rencana anggaran biaya dihitung dengan menggunakan harga satuan upah dan bahan kota batu tahun 2013 dan analisa harga satuan bersumber pada an alisa BBWS Brantas dan SNI 7394: 2008. Berikut ini rekap hasil perhitungan rencana anggaran biaya pada Tabel 5.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan prediksi erosi, usia efektif waduk, upaya konservasi dan rencana anggaran biayanya maka dapat disimpulkan bahwa: besarnya sedimen yang keluar pada titik outlet paling besar berada pada subbasin 27 yang di dominasi oleh jenis tanah mediteran sebagai penyumbang sedimen terbesar.

Tingkat bahaya erosi dihitung dari nilai *sediment yield* hasil simulasi AVSWAT dikombinasikan dengan peta kedalaman solum tanah sehingga dihasilkan nilai TBE tertinggi yaitu sedang pada subbasin 13, 15, 16, 20, 25, 27, 28.

Dari hasil simulasi AVSWAT 2000 Inflow sedimen yang masuk ke waduk (Pada outlet 29) sebesar 134.663,27 ton/tahun. Berdasarkan besarnya inflow sedimen tersebut, dengan menggunakan efisiensi tangkapan waduk dengan metode *Brunne* di-

peroleh sisa usia guna waduk yang kurang dari 12 tahun. Sedangkan untuk metode *Churchill* diperoleh usia guna waduk lebih dari 12 tahun. Namun demikian tetap saja perlu upaya konservasi untuk mengantisipasi degradasi usia guna waduk.

Prosentase reduksi sedimen dari masing-masing upaya konservasi untuk jangka pendek mampu mereduksi sedimen 85.55% dan manfaat langsung dapat dirasakan dalam waktu kurang dari 1 tahun, untuk jangka menengah mampu mereduksi sedimen 4.03% dan manfaat baru dapat dirasakan setelah infrastruktur selesai sampai dengan checkdam penuh 1–5 tahun, sedangkan untuk jangka panjang mampu mereduksi sedimen 63.99% dan manfaat baru dapat dirasakan minimal setelah 10 tahun berikutnya.

Berdasarkan kesimpulan diatas, dari ketiga upaya jangka pendek, jangka menengah dan jangka panjang jika dilihat dari prosentase reduksi sedimen, biaya pelaksanaan dan manfaatnya yang langsung dapat dirasakan maka dipilih alternatif jangka pendek (*dredging*) sebagai upaya prioritas dalam mengatasi permasalahan ini. Untuk upaya jangka panjang tetap harus dilakukan sebagai upaya pemulihan kondisi DAS, dengan memperhatikan legal aspek yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1974. *Design of Small Dams*. New Delhi: *A Water Resources Technical Publication, Oxford & IBH Publishing Co.*
- Anonim. 2008. *Project Implementation Plan for Dam Operation Improvement and safety Project (DOISP). Water Resources and Irrigation Sector Management Project (WISMP)*
- Anonim. 2008. *Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Beton untuk Konstruksi Bangunan Gedung dan Perumahan*. SNI 7394 : 2008 : Badan Standardisasi Nasional
- Asmaranto, R., Ery, S., and Yuanita, M. 2012. *Aplikasi Model AVSWAT 2000 untuk memprediksi Erosi, Sedimen dan Limpasan di DAS Sampean*. *Jurnal Teknik Pengairan*, 2(1), pp-79.
- Morris, G.L., Fan, J. 1997. *Reservoir Sedimentation Handbook*. New york : McGraw- Hill
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R., King, K.W. 2002. *Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2000*. Texas Water Resources Institute.
- Nursya'ban, M. 2008. *Evaluasi Sediment Yield Di Daerah Aliran Sungai Cisanggarung Bagian Hulu Dalam Memperkirakan Sisa Umur Waduk Darma*. *Jurnal Penelitian Saintek: Universitas Negeri Yogyakarta*.
- Utomo, W.H. 1994. *Erosi dan Konservasi Tanah Tahun 2011*: IKIP Malang.