

STUDI PENDUGAAN SISA USIA GUNA WADUK SELOREJO DENGAN PENDEKATAN EROSI DAN SEDIMENTASI

Siti Rohma Varadilla¹, Eko Noerhayati², Azizah Rahmawati³

¹Mahasiswa Sarjana Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Malang

²Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang

Email : sitirohmavaradilla@gmail.com

ABSTRAK

Waduk selorejo merupakan Waduk yang dikelola oleh Perum Jasa Tirta I. Waduk Selorejo bertepatan pada anak Sungai Kali Brantas yaitu Kali Konto di kecamatan Ngantang Kabupaten Malang. Waduk Selorejo sendiri telah beroperasi selama 45 Tahun (beroperasi pada tahun 1973 dan data terakhir yang dipakai sebagai acuan tahun 2018). Studi ini dilakukan guna mengetahui debit sedimen serta erosi dan mengetahui sisa usia guna Waduk Selorejo.

Perhitungan sisa usia guna waduk menggunakan dua metode yaitu melalui pengukuran Echo Sounding sebagai pembanding dan Empiris, sehingga bisa diketahui usia guna pada waduk. Dan untuk titik tinjau erosi yang membawa sedimen masuk pada waduk selorejo menggunakan perhitungan metode USLE dan MUSLE sehingga bisa diketahui sumber terbesar pembawa erosi dan sedimen dari DAS ke Waduk Selorejo. Untuk kedua metode USLE dan MUSLE metode yang paling akurat digunakan untuk perhitungan adalah USLE dikarenakan untuk perhitungannya sendiri dari faktor erosivitas hujan secara langsung.

Berdasarkan hasil analisa pengaruh sedimen yang paling besar berasal dari DAS Coban Rondo, Candi Kidul, Tokol dan Bentah dengan kelas erosi berat dan sangat berat dengan hasil erosi berat sekitar 250.531.012 m³/tahun pada tahun 2016 dan 1.936.212.719 m³/tahun tahun 2018 pada tahun tersebut sangat berat dikarenakan nilai erosivitas hujan pada tahun 2018 sangat besar. Untuk kelas erosi berat metode MUSLE pada tahun 2018 sekitar 282.106.416 m³/tahun. Dan untuk analisa usia gua waduk dengan pendekatan volume diperoleh sisa usia guna 25 tahun dan untuk pendekatan rumus empiris dengan Trap Efficiency 35,63% di dapat sisa usia guna 25 tahun.

Kata Kunci: Waduk Selorejo, Sedimentasi, Usia Guna Waduk, Erosi

1. PENDAHULUAN

Selorejo merupakan waduk yang terletak di DAS sungai brantas yaitu kali Konto Kecamatan Ngantang Kabupaten Malang ± 50 km di sebelah barat kota Malang. Waduk selorejo mempunyai 2 bendungan Tipe yaitu Sabo Dam Tokol ± 5 km pada hulu dan Sabo Dam ± 5 km pada hilir Bendungan Selorejo. Waduk selorejo sendiri beroperasi pada tahun 1973 sampai 2020. Menurut Jasa Tirta kondisi yang terjadi pada Waduk Selorejo mengalami peningkatan yang sangat parah sehingga mengurangi daya tampungan pada waduk, kondisi tersebut dikarenakan adanya degradasi pada lahan di sekitar DAS yang menjadi lahan pertanian dan deforestasi.

Untuk pengelolaan Waduk sendiri perum Jasa Tirta telah melakukan berbagai upaya untuk mengurangi sedimen yang masuk pada waduk dengan cara teknis maupun non teknis. Secara non teknis dilakukan dengan cara reboisasi dan teknis dengan cara pengerukan pada waduk secara berkala.

Perhitungan sedimen dalam merencanakan waduk itu sangat penting, karena untuk menentukan volume volume sedimen dan sebaran distribusi sedimen serta analisa yang dilakukan harus mendekati dengan keadaan yang sebenarnya. Karena proses sedimentasi pada waduk akan sangat berpengaruh terhadap fungsi dan umur waduk.

2. TINJAUAN PUSTAKA

- a. Waduk adalah kolam besar tempat penyimpanan air untuk berbagai kebutuhan. Waduk dapat terbentuk ataupun terjadi secara alami atau buatan manusia. Waduk buatan dibangun dengan cara membuat bendungan yang kemudian dialiri air sampai waduk tersebut penuh (Anonim,2013).

- b. Erosi adalah proses hilangnya lapisan permukaan tanah atas, baik oleh pergerakan air maupun angin. Erosi dapat mengakibatkan merosotnya produktivitas tanah, daya dukung tanah untuk produksi pertanian dan kualitas lingkungan hidup. Erosi yang sering ditemukan umumnya disebabkan oleh air hujan dan ditunjukkan dengan adanya peristiwa pelepasan, pengikisan dan pengakutan partikel tanah (Asdak,2010).

Perhitungan besarnya erosi menggunakan USLE yaitu :

$$A = R.K.LS.CP$$

Dimana:

A : Erosi lahan (ton/ha/thn)

R : Faktor erosivitas hujan

LS : Faktor erodibilitas tanah

CP: Faktor tanaman dan pengelolaan lahan

Hasil dari laju erosi (A) dalam studi ini selain dalam satuan ton/ha/tahun, juga akan ditampilkan dalam mm/tahun sebagai catatan :

$$\frac{\text{ton/ha/tahun}}{\text{berat jenis tanah} * 1000} = \text{mm/tahun}$$

Sedangkan untuk perhitungan metode MUSLE menggunakan rumus :

SY : R.K.LS.C.P

Dimana :

SY : Hasil sedimentasi (Sedimen Yield) (ton/ha/thn)

R : Limpasan Permukaan (Run off)

LS : Faktor erodibilitas tanah

K : Faktor erodibilitas tanah

CP: Faktor tanaman dan pengelolaan lahan

Faktor permukaan run off adalah limpasan yang selalu mengalir melalui permukaan tanah (sebelum dan sesudah mencapai saluran).

- c. Sedimentasi merupakan hasil dari proses erosi, baik erosi dari permukaan, erosi parit, atau sejenis erosi lainnya. Sedimen pada umumnya mengendap pada bagian bawah kaki bukit, di saluran air, di daerah genangan banjir, sungai dan waduk (Arsyad, 2010).

- d. Sediment Delivery Ratio

Setelah mengetahui besarnya erosi yang terjadi kemudian menghitung nilai SDR, yaitu merupakan perbandingan antara sedimen yang terukur di *outlet* dan erosi di lahan biasa bisa juga disebut Nisbah pengangkutan Sedimen (NPS). Salah satu cara untuk menentukan besarnya SDR adalah dengan menggunakan persamaan di bawah ini (Asdak, 2002) :

dengan :

D = nisbah pengangkutan sedimen atau *Sediment Delivery Ratio* (SDR)

Y = hasil sedimen yang diperoleh di *outlet* DAS

T = erosi total yang berasal dari daerah tangkapan air (termasuk erosi parit, erosi kulit dan erosi alur) yang berlangsung di bagian atas *outlet*. Selain itu, besarnya SDR juga bisa didapat dengan menggunakan rumus Boyce (1975) yaitu :

$$SDR = 0,41.A^{-0,3}$$

Di mana :

SDR = *Sediment Delivery Ratio* (SDR)

A = Luas DAS (ha)

- e. Debit sedimen

Muatan layang (*suspended load*) dapat juga dihitung dengan menggunakan metode USBR (*United State Bureau Reclamation*) di mana untuk menghitung angkutan muatan layang, diperlukan pengukuran debit air (Q_w) dalam m³/det, yang dikombinasikan dengan konsentrasisedimen (C) dalam mg/l, yang menghasilkan debit sedimen dalam ton/hari dihitung dengan persamaan (Strand, 1982):

$$Q_s = 0,0864 C.Q_w$$

Dari perhitungan, dibuat lengkung aliran sedimen yang merupakan garis regresi antara angkutan sedimen dan debit air dengan persamaan:

$$Q_s = a.Q_w b$$

Dimana :

Q_s = Debit sedimen (ton/hari)

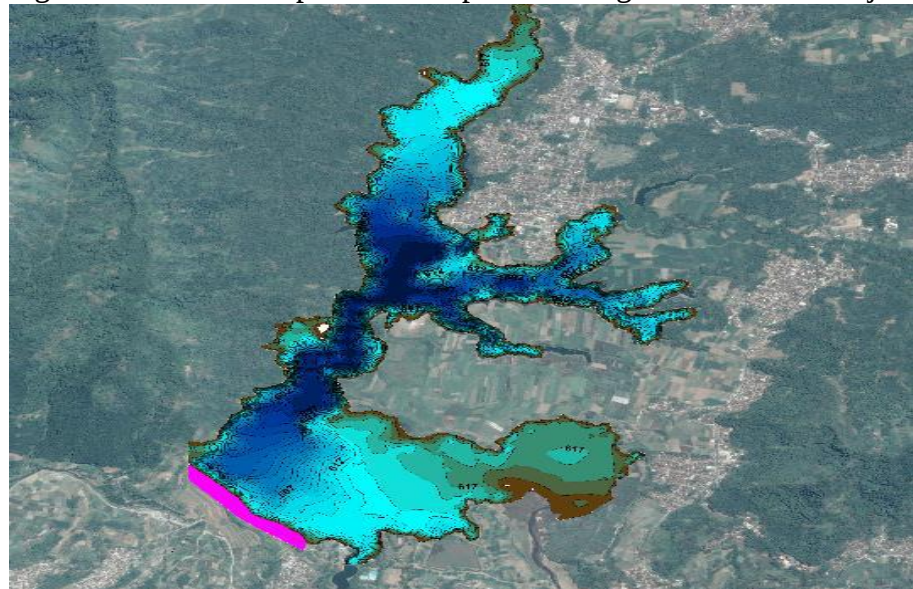
C = konsentrasi sedimen (mg/liter)

Q_w = Debit aliran (m³/detik)

0,0864 adalah faktor perubahan unit. Selain itu, Borland dan Maddock dari USBR telah menyediakan sebuah tabel untuk memperkirakan besar angkutan *bed load* berdasarkan konsentrasi *suspended load* nya. Adapun titik yang digunakan dalam perhitungan adalah Coban Rondo, Lajar, dan Konto. Untuk perhitungan debit sedimen digunakan data debit pada tahun 2018.

f. Perhitungan Echo Sounding

Perubahan dasar waduk yang dilewati oleh sungai tersebut. Pengukuran perubahan dasar waduk ini biasanya dilakukan disebut dengan *echo sounding*. Berdasarkan dengan peta kontur ini maka dapat dihitung volume waduk. Dari hasil pengukuran echo sounding ini nanti bisa diketahui besarnya laju sedimentasi yang terjadi yang selanjutnya digunakan untuk memprediksi berapa sisa usia guna Waduk Selorejo.



Gambar 1. Denah pengukuran Echo Sounding Waduk Selorejo

Sumber: Perum Jasa Tirta I

g. Sisa Usia Guna Waduk

Untuk penentuan umur waduk Pada umumnya dilakukan dengan cara menghitung berapa lama tampungan mati terisi penuh sedimen. Bila jumlah sedimen yang masuk lebih besar disbanding kapasitas waduknya, maka usia guna waduk tersebut akan berkurang dari usia guna yang telah direncanakan. Dalam studi ini, perhitungan sisa usia guna waduk dihitung dengan dua metode, yaitu secara empiris yang diperoleh dari perhitungan erosi serta dari hasil pengukuran *echo*

sounding. Perhitungan sendiri bergantung pada besarnya laju sedimen yang masuk waduk dan tampungan mati waduk.

3. METODOLOGI PENELITIAN

a. Lokasi Studi

Waduk Selorejo terletak di Desa Selorejo, Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang, Jawa Timur. Waduk Selorejo terletak pada titik koordinat $7^{\circ}51'34''$ S - $112^{\circ}21'58''$ E / 7.8653° S 112.361° E, ± 50 km dari Kota Malang dengan memiliki luas daerah pengairan sebesar 236 km^2 dengan kapasitas maksimum waduk $62,3 \text{ juta m}^3$ pada tahun 1970 dan pada tahun 2007 sebesar $41,867 \text{ m}^3$ dan berkurang sebesar 32,80%, sedangkan untuk kapasitas tampungan sedimen tahun 1970 sebesar $12,2 \text{ juta m}^3$ dan $2,032 \text{ juta m}^3$ pada tahun berkurang sebesar 73,6%.

Data yang diperlukan

- Peta Topografi
- Peta tata guna lahan
- Peta kelerengan
- Peta jenis tanah
- Data hidrologi
- Data echosounding
- Data debit

b. Tahapan Studi

1. Pengelolaan Data Hujan 10 Tahunan
 - a. Uji konsistensi data hujan
 - b. Rata-rata hujan mm/ tahun
2. Pengolahan Data Erosi
Pengolahan data erosi lahan yang terkait dengan perhitungan luasan daerah genangan waduk yang meliputi :
3. Analisa erosi yang terjadi
Dari data tingkat kekeritisian lahan kemudian dilakukan perhitungan laju erosi menggunakan metode USLE.
4. Analisa Sediment Delivery Ratio (SDR)
Dengan menggunakan data erosi dan luas DAS kita dapat menghitung rasio pengangkutan sedimen yang terjadi.
5. Perhitungan Sediment Yield
Dari nilai Sediment Delivery Ratio (SDR) dan besarnya erosi yang terjadi maka didapat besarnya Sediment Yield yang terjadi.
6. Analisa Trap Efficiency
 - Pada tahapan ini dimaksudkan agar kita mengetahui besar sedimen yang mengendap dan menjadi tampungan mati pada waduk.
 - Setelah diketahui kisaran yang terjadi dari Trap Efficiency selanjutnya adalah menganalisa mengenai usai guna waduk.
7. Analisa mengenai usia guna waduk

Dari hasil perhitungan yang dilakukan maka dilakukan perhitungan untuk memprediksi atau menduga sisa usia guna waduk.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Erosi

- Analisa Curah Hujan

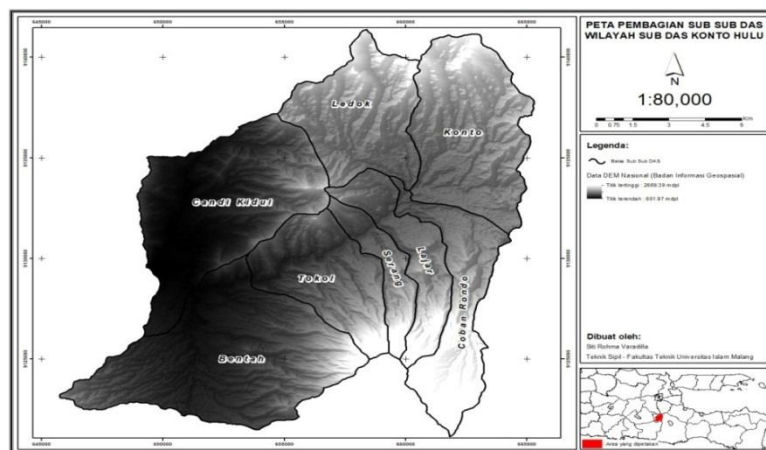
Metode yang digunakan dalam perhitungan curah hujan rata-rata wilayah yaitu dengan metode aljabar, dimana pengukuran dilakukan diberbagai pos hujan yaitu jumlah hujan pada bulan tertentu untuk tahun tertentu yang disebut curah hujan bulanan.

Setelah itu di hitung faktor erosivitas hujan seperti pada tabel 1. Dibawah ini.

Tabel 1. Nilai Erosivitas Hujan (R)

Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des
Total	1151	864	450	197	147	92	0	0	12	21	215	523
Total cm	115	86	45	20	15	9	0	0	1	2	22	52
Maksimum	10	9	7	6	4	5	0	0	1	1	3	9
Hari Hujan	30	26	21	15	10	5	0	0	1	2	18	22
Hujan Rata2	4	3	2	1	1	2	0	0	1	1	1	2
EI30	21,10	18,56	9,92	6,27	6,61	14,39	0	0	8,40	5,16	3,61	12,69
R	106,72											

- Nilai pembagian sub-DAS konto



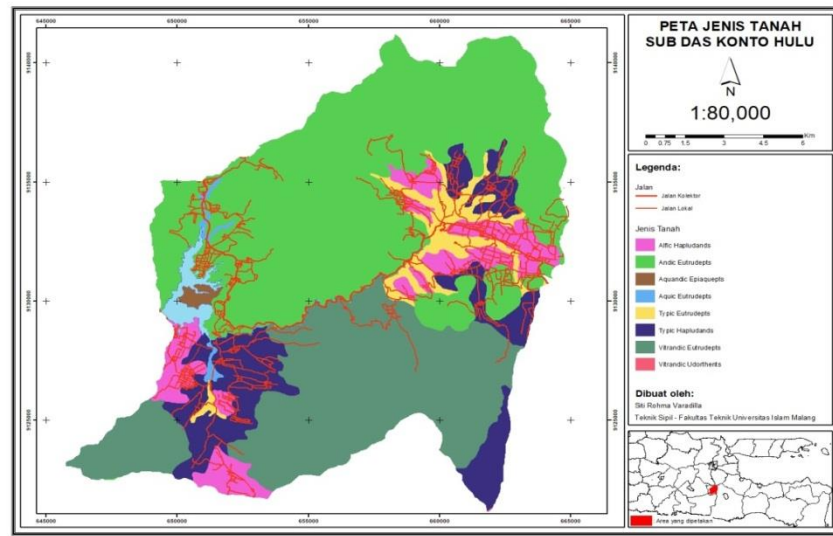
Gambar 2. Pembagian Sub-DAS Konto
(Sumber:perhitungan)

Tabel 1. Luas Sub-DAS Konto

DAS	Area (km ²)
Bentah	54,485
Candi Kidul	46,079
Konto	36,564

Ledok	27,581
Coban Rondo	23,508
Lajar	16,082
Serang	9,416
Tokol	23,979

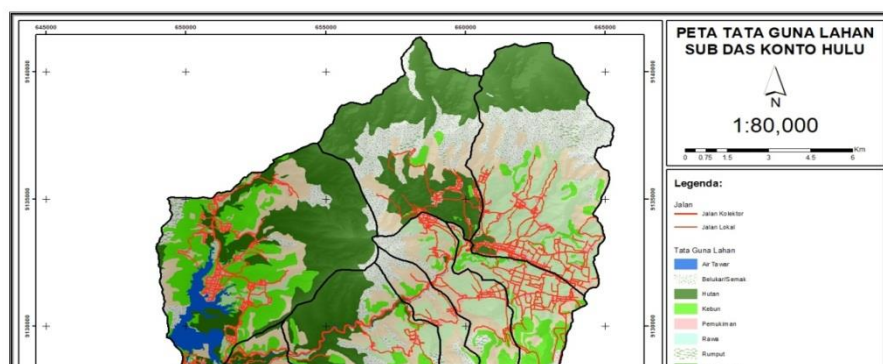
- Peta jenis Tanah



Gambar 2. Peta Jenis Tanah Sub-DAS Konto
(Sumber:Perhitungan)

Tabel 2. Faktor Nilai Jenis Tanah

Jenis Tanah	Luas (Km2)							
	Bentah	Candi Kidul	Konto	Ledok	Coban Rondo	Lajar	Serang	Tokol
Alfic Hapludands	4,67	2,99	3,50	1,71	2,00	1,81	0,86	
Andic Eutrudepts	1,96	37,74	23,72	23,41	3,20	5,97	3,60	7,80
Aquandic Epiaquepts	-	0,99	-	-	-	-	-	-
Aquic Eutrudepts	0,45	0,66	-	-	-	-	-	-
Typic Eutrudepts	0,59	0,01	2,26	1,86	2,55	1,19	0,75	0,31
Typic Hapludands	13,65	0,55	4,18	0,37	6,80	1,46	-	-
Vitrandic Eutrudepts	31,72	-	-	-	6,67	5,60	4,15	15,72
Rerata K	8,84	7,16	8,42	6,84	4,24	3,21	2,34	7,94



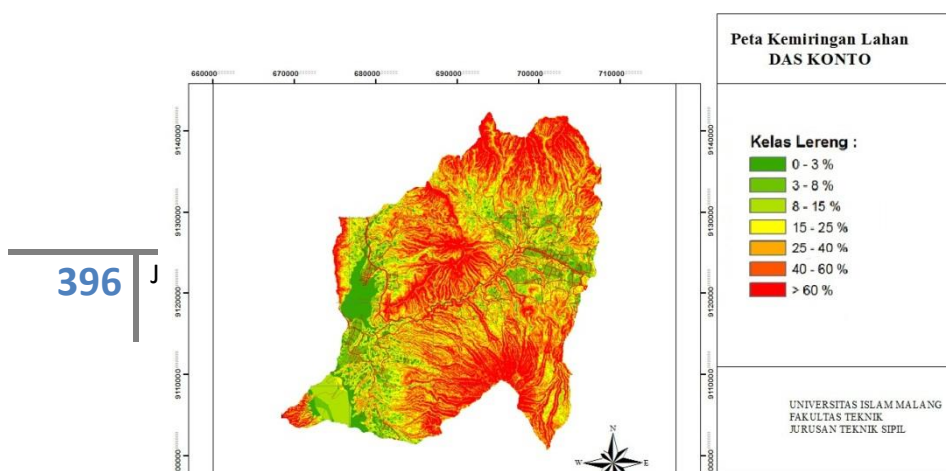
Gambar 4. Peta Tata Guna Lahan Sub-DAS Konto
(Sumber:Perhitungan)

Dari peta tata guna lahan di dapat penutupan vegetasi dan luasnya masing-masing yang terdapat pada tabel 3. berikut:

Tabel 3. Faktor Nilai Tata Guna Lahan

Tata Guna Lahan	Luas (Km2)							
	Bentah	Candi Kidul	Konto	Ledok	Coban Rondo	Lajar	Serang	Tokol
Air Tawar	0,09	3,12	-	-	-	0,02	0,03	0,12
Belukar/Semak	4,27	1,94	7,08	6,51	0,23	2,10	3,52	3,41
Hutan	6,72	12,08	8,09	10,34	0,06	0,00		5,70
Kebun	25,91	-	1,47	0,63	3,64	1,82	0,46	2,36
Pemukiman	-	6,01	2,36	0,59	1,21	0,83	0,35	0,38
Rawa	-	0,02	-	-	-	-	-	-
Rumput		0,78	0,66	0,39	0,01	0,45	0,35	0,59
Sawah Irigasi	21,18	-	6,35	-	12,15	2,69	0,87	5,95
Sawah Tadah Hujan	1,58	1,68	12,26	-	4,38	4,18	1,29	2,22
Tanh Ladang/Tegalan	9,67	5,52	4,20	3,19	1,82	3,99	2,56	3,25
Rerata CP	9,92	3,89	5,31	3,61	2,94	1,79	1,18	2,66

Untuk faktor panjang dan kemiringan lereng (LS) ditentukan dengan menggunakan peta kemiringan lereng DAS Konto pada Waduk selorejo pada gambar 5. Dibawah sebagai berikut.



Gambar 5. Peta Keterangan DAS Konto

(Sumber : Perhitungan)

Tabel 4. Kemiringan Lereng DAS Konto

DAS	Kemiringan	LS
Bentah	2-8 %	0,4
Candi Kidul	8-15 %	1,4
Konto	8-15 %	1,4
Ledok	8-15 %	1,4
Coban Rondo	15-25%	3,1
Lajar	2-8%	0,4
Serang	2-8%	0,4
Tokol	8-15%	1,4

- **Metode USLE**

Tabel 5. Perhitungan erosi menggunakan metode USLE

No	DAS	Luas Area	Sed Yield	Sed Yield	Berat Isi	Laju Erosi	
		Ha	Ton/Ha/Tahun	Ton/Tahun	Ton/m3	m3/Thn	mm/Thn
1	Bentah	5448,4700	39.578	215.639.416	0,21	1.026.854.361	18,847
2	Candi Kidul	4607,8947	4.161	19.174.455	0,21	91.306.928	1,982
3	Konto	3656,3836	4.218	15.423.420	1,2	12.852.850	0,352
4	Ledok	2758,0831	2.330	6.425.294	0,27	23.797.384	0,863
5	Coban Rondo	2350,7667	43.602	102.497.401	0,27	379.620.005	16,149
6	Lajar	1608,1816	2.593	4.170.437	0,21	19.859.224	1,235
7	Serang	941,5786	1.232	1.159.604	1,20	966.337	0,103
8	Tokol	2397,9221	33.363	80.000.682	0,21	380.955.628	15,887
Tebal Tanah tererosi mm/tahun							55,416
Laju Erosi Rerata m3/thn						242.026.590	
Volume m3/thn						1.936.212.719	

- **Metode MUSLE**

No	DAS	Luas Area	Sed Yield	Sed Yield	Berat Isi	Laju Erosi	
		Ha	Ton/Ha/Tahun	Ton/Tahun	Ton/m3	m3/Thn	mm/Thn

1	Bentah	5448,4700	6802	37.059.513	0,21	176.473.870	3.239
2	Candi Kidul	4607,8947	7593	34.988.507	0,42	83.305.968	1.808
3	Konto	3656,3836	9297	33.994.393	1,2	28.328.661	775
4	Ledok	2758,0831	2963	8.173.072	0,27	30.270.636	1.098
5	Coban Rondo	2350,7667	2951	6.936.136	0,27	25.689.394	1.093
6	Lajar	1608,1816	111	179.251	0,21	853.577	53
7	Serang	941,5786	30	28.131	1,20	23.443	2
8	Tokol	2397,9221	2271	5.446.156	0,21	25.934.075	1.082
Tebal Tanah tererosi mm/tahun							9.149
Laju Erosi Rerata m3/thn						46.359.953	
Volume m3/thn						370.879.625	

b. SDR (Sedimen Delivery Ratio)

Titik Tinjau DAS	A (Km2)	Persamaan Luasan (%)	
		Vanoni	USDA
Bentah	54,485	25,48	32,85
Candi Kidul	46,079	26,02	33,46
Konto	36,564	26,78	34,33
Ledok	27,581	27,74	35,41
Coban Rondo	23,508	28,30	36,04
Lajar	16,082	29,68	37,57
Serang	9,416	31,73	39,85
Tokol	23,979	28,23	35,96

c. Trap Efficiency

Tahun	A	N	Tampungan Waduk (Juta m3)	Inflow Tahunan (Juta m3)	X	Trap Efisiensi (%)
2016	100	1,5	35.353.310	1029,00	0,344	20.138
2014	100	1,5	33.990.401	1726,08	0,197	8.739
2018	100	1,5	33.980.400	675,70	0,503	35.663

d. Usia Guna Waduk

- Berdasarkan Pengukuran Echosounding
Volume tahun 2018 = 30.413.944,36m³
Volume Tampungan sedimen = 36 juta m³
Volume tampungan mati telah terisi = 36.0000.000-30.413.944,36
= 5.586.055,64m³

$$\text{Laju sedimen masuk pada tampungan mati} = \frac{36.000.000 - 5.586.055,64}{45}$$

$$= 1.241.346 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka, sisa usia waduk Selorejo} &= \frac{30.413.944,36}{1.241.346} \\ &= 25 \text{ tahun} \end{aligned}$$

- Berdasarkan pendekatan Erosi dan Sedimentasi

$$E = 35,56\%$$

$$\gamma_d = 0,963 \text{ ton/m}^3$$

$$Ws = 162.511,61 \text{ (ton/tahun)}$$

$$\begin{aligned} Vs &= Ws/\gamma_d \\ &= 162.511,61/0,963 \\ &= 156.499 \end{aligned}$$

$$L = 50.000 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} S &= Vs/L \\ &= 156.499/50.000 \\ &= 2,5040 \text{ m} \end{aligned}$$

$$V = 30.413.944,36 \text{ juta/m}^3$$

$$\begin{aligned} T &= V/(VS \cdot E) \cdot 45 \\ &= 30.413.944,36/(156.499 \cdot 35,66) \cdot 45 \\ &= 25 \text{ Tahun} \end{aligned}$$

Dari kedua metode diatas berdasar pengukuran Di lapangan, dan berdasarkan erosi dan sedimentasi di dapat sisa usia guna waduk selorejo 25 tahun.

5. PENANGANAN SEDIMEN

Pemeliharaan rutin yang dilakukan pada intake dengan pembuangan sedimen melalui *sand flushing* tentu saja tidak seimbang dengan besarnya sedimentasi yang terjadi Untuk itu penangan sedimen dengan membangun bangunan sabo DAM pada tiap sungai yang melintasi waduk tersebut dikarenakan biaya pengerukan yang mahal. Bisa juga dilakukan penghijaun dan reboisasi pada tiap lahan agar bisa mengurangi erosi dan sedimentasi pada waduk.

6. PENUTUP

a. Kesimpulan

1. Besar erosi yang menyebabkan sedimentasi pada waduk selorejo jika ditinjau dari titik sub-DAS yaitu titik DAS Coban Rondo, titik DAS Candi Kidul, titik DAS Tokol dan titik DAS Bentah. Jika ditinjau dari perhitungan titik tersebut merupakan titik penyumbang sedimen secara langsung pada waduk selorejo. Waduk selorejo memiliki tingkat sedimen yang cukup tinggi, hal ini dikarenakan DAS Selorejo terdapat aliran debris yang bersumber dari Gunung Kelud.
2. Besar nilai SDR terbesar terjadi pada titik Bentah, Coban Rondo, dan Tokol sebagai suplai sedimen langsung ke Waduk Selorejo memiliki kecenderungan SDR yang besar.

3. Sisa usia guna waduk dengan pendekatan volume diperoleh sisa usia guna 25 tahun.

Sisa usia guna waduk dengan pendekatan Empiris diperoleh sisa usia guna 25 tahun dengan *Trap Efficiency* sebesar 35,66%. Pada kedua metode pendekatan dan metode empiris didapat hasil usia guna yang sama yaitu 25 tahun.

b. Saran

Melihat kondisi dan permasalahan yang terjadi maka dapat diambil beberapa saran antara lain:

1. Pengendalian sedimentasi secara teknik dapat menggunakan bangunan air pengendali sedimen seperti cek dam dan sabo dam.
2. Dari usaha non teknis dapat berupa penghijauan atau reboisasi pada daerah hulu waduk.

7. DAFTAR PUSTAKA

Asdak, Chay. 2002. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press

Arsyad. (2010). *Konservasi Tanah dan Air*. IPB Press, Bogor.

Jadfan Sidqi Fidari. (2013). “*Studi Pendugaan Sisa Usia Guna Waduk Sutami dengan Pendekatan Erosi dan Sedimentasi*”. Tesis Tidak Diterbitkan. Malang: Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, 2013.

Jannatul Ma’wa. (2014). *Studi Sisa Usia Guna Waduk Sengguruh dengan Pendekatan Erosi dan Sedimentasi*. Malang: Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Strand, RI and Pemberton, EL. (1982). *Analyzing Factors Affecting Erosion and Sedimentary Deposits Using the Emperical Method of PSIA*C: Jurnal Terbuka Geologi, Vol 7 No.8.

<https://www.e-jurnal.com/2013/12/pengertian-waduk.html?m=1>(diakses Maret 2019)