

PENGARUH EROSI DAN SEDIMENTASI TERHADAP UMUR EFEKTIF WADUK KARANGKATES BERBASIS ARCGIS

Syifa Dharwita¹, Eko Noerhayati², Azizah Rachmawati³

¹Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang, Email : syifadharwita@gmail.com

²Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang, Email : eko.noerhayati@unisma.ac.id

³Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang, Email : azizah.rachmawati@unisma.ac.id

ABSTRAK

Waduk karangkates merupakan waduk yang terletak di Kecamatan Sumber Pucung, Kabupaten Malang, Provinsi Jawa Timur dan merupakan salah 1 waduk yang di kelolah oelah jasa tirta 1 dan telah beroperasi 46 tahun. Studi ini bertujuan untuk mengetahui sisa umur efektif waduk. Untuk perhitungannya meliputi perhitungan erosi dengan menggunakan metode MULSE, dimana kita ketahui bahwa erosi yang didapat pada waduk karangkates cukup berat yaitu 257.448.847 m³/thn untuk perhitungan pada tahun 2014. Kemudian untuk mengetahui besar distribusi pada waduk di tijau dua titik yaitu stasiun Gadang dan stasiun Tawangrejeni karna keduanya merupakan titik yang paling berpengaruh terdapat sediemn di waduk Karangkates.

Dari hasil perhitungan, diketahui bahwa sumber sedimen yang terbesar berasal dari titik gadang yaitu $Q_s = 0,0182 \text{ kg/dt}$ dan $Q_w = 0,6705 \text{ kg/dt}$ pada tahun 2018. Dari perhitungan analisa sisa umur efektif waduk karangkates dengan menggunakan metode pendekatan empiris dengan efisiensi tangkapan waduk 8,09% memperoleh hasil 35 tahun.

Kata Kunci : Sedimen, Umur Efektif, Waduk Karangkates.

PENDAHULUAN

Sering kita jumpai beragam pencemaran yang terakumulasi di waduk dan berpengaruh pada kapasitas waduk, salah satunya yaitu sedimen yang mengendap di dasar waduk, penyebaran dari sedimen itu sendiri juga tergantung dari ukuran butiran dan pola operasi waduk serta topografi waduk. besar suatu sedimen sangat berpengaruh terhadap tingkat waktu oprasionalnya waduk. Pengendalian sedimentasi juga sangat penting untuk mencegah laju sedimentasi di waduk yang terlalu tinggi, maka perlu di lakukan usaha pengendalian dari hulu sehingga sedimen yang masuk ke waduk dapat di minimalisir.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Model Pendugaan Erosi

- Pada perhitungan erosi membutuhkan data tata guna lahan, kemiringan lahan, dan jenis tanah, dan untuk memperoleh data tersebut penulis menggunakan aplikasi ArcGis 3.10.
- Kemudian untuk metode yang digunakan selanjutnya yaitu metode MUSLE ((*Modified Universal Soil Loss Equation*)). Secara umum persamaan MUSLE dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$SY = 11,8(Q_p \cdot V_Q)^{0,56} K \cdot LS \cdot C_{PT} \cdot P_{KL} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

SY = hasil sedimen tiap kejadian hujan (ton)

V_Q = volume aliran pada suatu kejadian hujan (m³)

Q_p = debit puncak (m³/dtk)

- Menurut Suripin (2003), untuk DAS dengan tata guna lahan yang tidak homogen nilai debit puncak (Q_p) dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q_p = 0.00278 I \sum C_i A_i \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

C_i = koefisien aliran permukaan jenis penutup tanah i

A_i = luas lahan dengan jenis penutup tanah i

I = intensitas hujan (mm/jam)

- d. Volume aliran pada suatu kejadian hujan (V_Q) dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$V_Q = P_e \times \text{luas daerah aliran sungai} / 1000$$

- e. Limpasan permukaan (*Surface Run Off/Direct Run Off*) adalah limpasan yang selalu mengalir melalui permukaan tanah (sebelum dan sesudah mencapai saluran). Limpasan Permukaan (*Runoff*) Setelah diketahui besarnya nilai Q_p dan nilai V_q , bisa didapatkan nilai R dengan rumus :

$$R = (Q_q \times Q_p)^b$$

Dimana :

R = Limpasan permukaan (*runoff*)

Q_q = Volume aliran permukaan (m^3)

Q_p = Aliran puncak (m^3/s)

$b = 0.56$ (konstan)

2. Sedimen daerah aliran waduk

Debit *Inflow* (Q_w) dan Debit Sedimen (Q_s)

Debit *inflow* sedimen dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$Q_s = 0,0864 \cdot C \cdot Q_w \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

Q_s = Debit sedimen (Ton/hari)

C = konsentrasi sedimen (mg/liter)

Q_w = Debit aliran ($m^3/detik$)

0,0864 adalah faktor perubahan unit

3. Trap Efficiency (Rendaman Jerat)

Pada perhitungan trap efisiensi metode Brune numerik menggunakan data kapasitas tampungan pada kondisi maksimum dengan persamaan sebagai berikut.

$$Y = 100 \left(1 - \frac{1}{1 + \alpha x} \right)^n$$

..... (4)

Yang mana :

Y = efisiensi tampungan

x = perbandingan kapasitas tampungan dengan debit masukan

α = konstanta

$\alpha = 100$, untuk rata rata

$\alpha = 65$, untuk minimum

$\alpha = 1,0$, untuk selubung

n = konstanta

$n = 1,5$, untuk rata rata

$n = 2,0$, untuk minimum

$n = 1,0$, untuk selubung

4. Umur Efektif Waduk Karangates

Tingkat sedimen yang terjadi sangat berpengaruh terhadap keberlangsungan waduk untuk memperkirakan umur suatu waduk, pada studi ini penulis menggunakan pendekatan empiris dengan persamaan sebagai berikut :

$$T = V / (Vs.E) \dots\dots\dots (5)$$

T = Tahun efektif (tahun)

V = Volume tampung mati (m^3)

L = luas DPS (km^3)

S = Intensitas Erosi = Vs/L

Vs = volume sedimen rata rata yang masuk ke waduk ($m^3/tahun$)
= Ws/γ_d

Ws = sedimen rata rata yang masuk ke waduk ($m^3/tahun$)

γ_d = berat isi endapan sedimen = $0,963 \text{ ton}/m^3$

E = efisiensi tangkapan waduk (trap efisiensi)

METODOLOGI PERANCANGAN

1. Lokasi penelitian

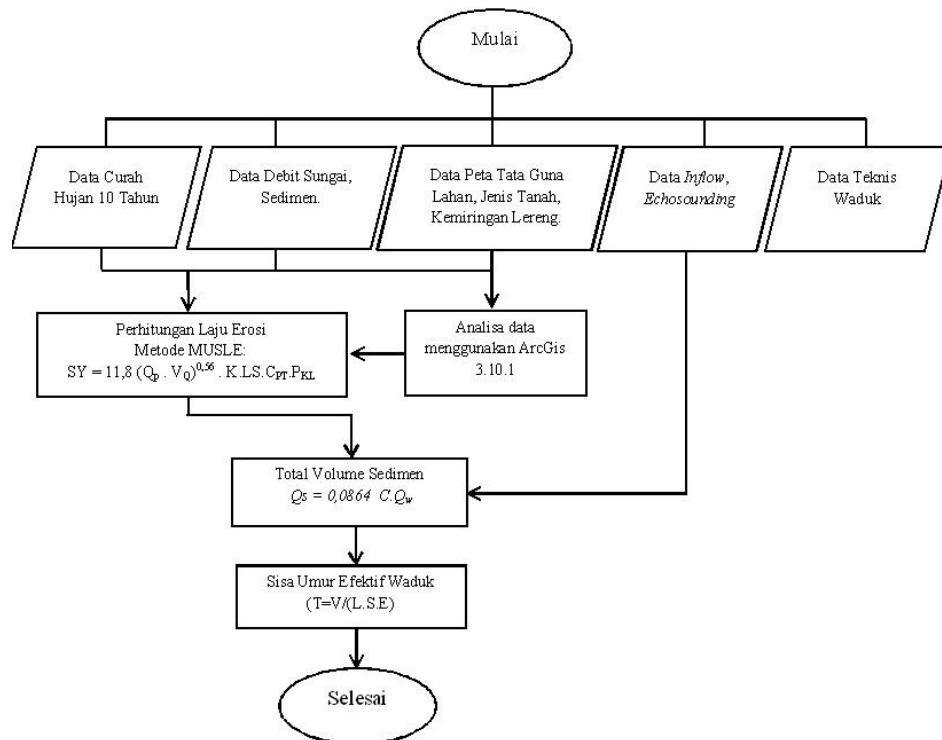
Studi ini berlokasi pada Waduk karangkates yang terletak di Kecamatan Sumber Pucung, Kabupaten Malang, Provinsi Jawa Timur, Indonesia, dimana secara geografi berada pada wilayah daerah Aliran Sungai Brantas yang terletak pada titik koordinat $110^0 30'$ - $112^0 55'$ bujur timur dan $7^0 01'$ - $8^0 15'$ lintang selatan. Waduk ini dikelola oleh Perum Jasa Tirta I.

2. Data yang di perlukan

- a. Data teknis Waduk
 - b. Data peta Tata Guna Lahan, kelerengan, dan Jenis Tanah untuk perhitungan laju erosi. Data tersebut di peroleh dengan menggunakan bantuan program Gis.
 - c. Data *Echosounding* dan *inflow* untuk perhitungan *trap efficiency*.
 - d. Data curah hujan perhitungan laju erosi.
 - e. Data Debit Sungai perhitungan laju erosi.
1. Perhitungan curah hujan rata rata (10 tahun terakhir)
 2. Perhitungan besar laju erosi pada waduk karangkates dengan metode MUSLE. di tahap ini terdapat beberapa proses antara lain :
 - Mencari nilai faktor erodibilitas (K), faktor panjang dan kemiringan lereng (LS), dan faktor penutup tanah serta faktor tindak konservasi (CP) dengan menggunakan data tata guna lahan, kelerengan, dan jenis tanah yang kemudian di olah menggunakan program ArcGis 3.10.1.
 - Perhitungan mengenai faktor erosivitas hujan rata rata (R).
 - Analisa koefisien aliran permukaan jenis penutup tanah (C_i) dan luasan dengan tutupan lahan (A_i).
 - Analisa debit puncak dan volume aliran pada suatu kejadian hujan.
 3. *Sedimen Delivery Ratio* (SDR) untuk pendekatan dalam memperkirakan besar sedimen yang tersangkut kedalam suatu saluran maupun tampungan suatu bangunan air.
 4. Kondisi sistem waduk yang merupakan data perubahan tampung waduk Karangates.
 5. Sedimentasi daerah aliran waduk untuk mengetahui kondisi karakteristik sedimentasi pada daerah aliran waduk Karangates yang antara lain terdiri dari berat jenis, debit inflow dan sedimen.

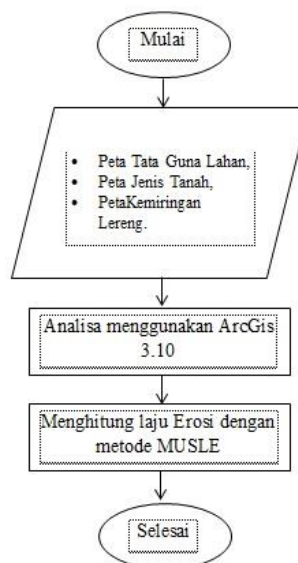
6. Perhitungan *rap efficiency* atau rendaman jerat sedimen pada waduk dengan menggunakan metode Brune numerik.
7. Perhitungan perkiraan sisa umur efektif dari waduk Karangates dengan menggunakan pendekatan persamaan empiris.

Untuk bagan air penyelesaian sebagai berikut:



Gambar 1. bagan alir penyelesaian.

Selanjutnya bagan alir erosi menggunakan ArcGis 3.10



Gambar 2. bagan alir ArcGis .

PEMBAHASAN

1. Perhitungan Erosi

Perhitungan Hasil Nilai K, LS, CP yang di peroleh dari rerata kemiringan lereng, tata guna lahan, jenis tanah.

Contoh perhitungan pada rerata K DAS lesti hulu :

$$= 103,72 + 0,48 + 29,42 + 55,31 + 10,43 + 29,14 + 61,40 + 13,49 / 12$$
$$= 37,92$$

Tabel 1. Perhitungan Hasil Nilai K, LS, CP

No	DAS	Area km ²	Rerata	Rerata	Rerata
			K	LS	CP
1	Lesti Hulu	259,28	37,92	129,31	28,76
2	Metro	328,56	61,37	164,13	29,87
3	Bango-Sari	236,77	31,15	118,10	21,52
4	Ampo	133,65	32,94	65,27	13,38
5	Manten	178,99	29,44	89,49	22,37
6	Lesti-Jaru	240,82	55,04	120,06	26,81

Sumber : Perhitungan

Kemudian Setelah didapatkan nilai erosi pada waduk karangkates pada tahun 2009, 2014, dan 2018 maka, selanjutnya untuk perhitungan metode MUSLE dapat dilihat pada tabel 2.

Contoh perhitungan pada DAS Lesti Hulu :

[1] = nomor

[2] = DAS waduk Karangkates

[3] = luas area DAS

[4] = dari data kehilangan tanah pada tabel 4.36

[5] = [3] x [4]. Contoh perhitungan pada DAS Lesti Hulu :

$$= 2.592.751 \times 8.356$$

$$= 21.665 \text{ ton/ha/tahun}$$

[6] = berat sedimen

[7] = [3] / [6] x [4]. Contoh perhitungan pada DAS Lesti Hulu :

$$= 2.592.751 / 2,21 \times 8.356$$

$$= 9.803.179 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

[8] = [3] / [7]. Contoh perhitungan pada DAS Lesti Hulu :

$$= 2.592.751 / 9.803.179$$

$$= 0,26 \text{ mm/tahun}$$

Perhitungan selanjutnya mengikuti yang diatas.

Tabel 2. Perhitungan Metode MUSLE Waduk Karangates (2009)

No	DAS	Luas	sed yield	sed yield	berat isi	laju erosi	
		Ha	ton/ha/tahun	ton/ha/tahun	ton/m ³	m ³ /tahun	mm/tahun
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
1	Lesti Hulu	2.592.751	8.356	21.665	2,21	9.803.179	0,26
2	Metro	3.285.626	33.109	108.783	1,27	85.656.528	0,04
3	Bango	2.367.716	39.945	94.578	1,22	77.523	30,54
4	Ampo	1.336.526	872	1.166	1,27	917.677	1,46
5	Manten	1.789.854	1.778	3.182	1,22	2.608.429	0,69
6	Lesti jaru	2.408.151	91.264	219.777	2,21	99.446.829	0,02
tebal tanah tererosi mm/tahun							33,01
laju erosi rerata						33.085.028	m ³ /thn
Volume						198.510.165	m ³ /thn

Tabel 3. Perhitungan Metode MUSLE Waduk Karangates (2014)

No	DAS	Luas	sed yield	sed yield	berat isi	laju erosi	
		Ha	ton/ha/tahun	ton/ha/tahun	ton/m ³	m ³ /tahun	mm/tahun
1	Lesti Hulu	2.592.751	5.622	14.576	2,21	6.596.676	0,39
2	Metro	3.285.626	17.546	57.649	1,27	45.393.380	0,07
3	Bango	2.367.716	48.353	114.486	1,22	93.841.124	0,03
4	Ampo	1.336.526	547	731.079	1,27	575.653	2,32
5	Manten	1.789.854	1.285	2.299	1,22	1.885.215	0,95
6	Lesti jaru	2.408.151	100.175	241.236	2,21	109.156.799	0,02
tebal tanah tererosi mm/tahun							3,78
laju erosi rerata						42.908.141	m ³ /thn
Volume						257.448.847	m ³ /thn

Sumber : Perhitungan

Tabel 4. Perhitungan Metode MUSLE Waduk Karangates (2018)

No	DAS	luas	sed yield	sed yield	berat isi	laju erosi	
		ha	ton/ha/tahun	ton/ha/tahun	ton/m ³	m ³ /tahun	mm/tahun
1	Lesti Hulu	2.592.751	7.326	18.994	2,21	8.594.793	0,30
2	Metro	3.285.626	16.709	54.899	1,27	43.227.972	0,08
3	Bango	2.367.716	20.444	48.405	1,22	39.676.709	0,06
4	Ampo	1.336.526	499	666.926	1,27	525.138	2,55
5	Manten	1.789.854	1.748	3.128	1,22	2.564.479	0,70
6	Lesti jaru	2.408.151	46.132	111.092	2,21	50.268.245	0,05
tebal tanah tererosi mm/tahun							3,73
laju erosi rerata						24.142.889	m ³ /thn
Volume						144.857.336	m ³ /thn

Sumber : Perhitungan

Kemudian dari data diatas dapat di klasifikasi tingkat bahaya erosi sebagai berikut:

Tabel 5. Tingkat Bahaya Erosi.

Tahun	MUSLE	Kelas Erosi
	m ³ /thn	
2009	198.510.165	Berat
2014	257.448.847	Berat
2018	144.857.336	Sedang

2. Sedimen daerah aliran waduk (DAW) Karangkates

Debit *inflow* sedimen dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$Q_s = 0,0864 C \cdot Q_w \quad (2-6)$$

Dimana

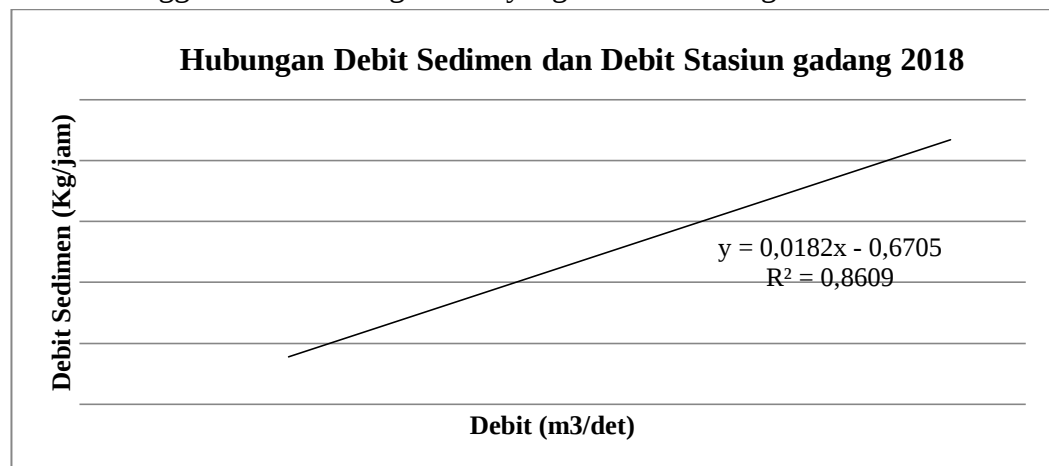
Q_s = Debit sedimen (Ton/hari)

C = Konsentrasi sedimen (mg/liter)

Q_w = Debit aliran (m³/detik)

0,0864 adalah faktor perubahan unit

penentuan grafik yang menghubungkan antara data debit sungai dan sedimen adalah menggunakan skala logaritmik yang antar lain sebagai berikut:

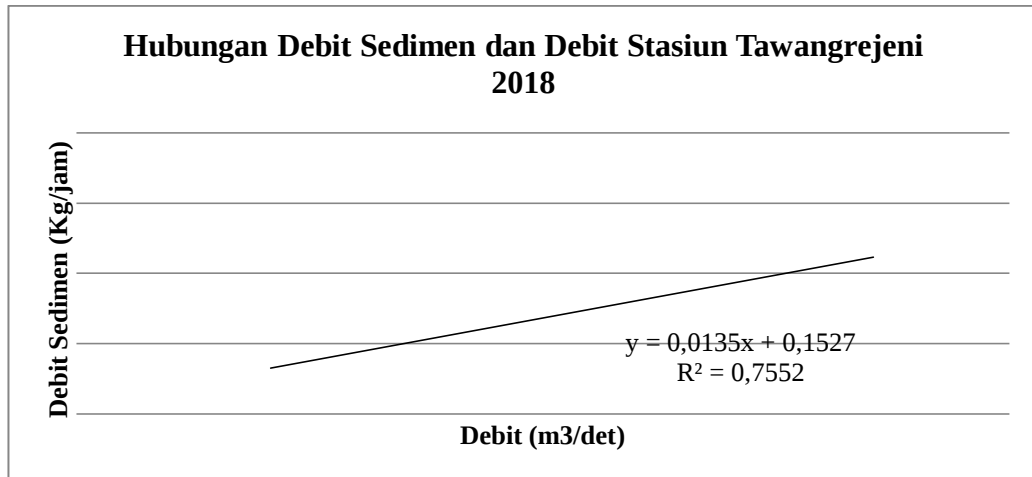


Gambar 3. Grafik Hubungan Antar Debit Sedimen Dengan Titik Gadang.

Dari grafik hubungan antar debit dan sedimen di gambar 4.8, maka di dapat persamaan untuk debit sedimen tahunan sebagai berikut :

Persamaan pada titik stasiun Gadang tahun 2018

$Q_s = 0,0182 Q_w - 0,6705$ dengan $R^2 = 0,8609$. Dengan nilai R^2 (korelasi) kuat/konsisten.



Gambar 4. Grafik Hubungan Antar Debit Sedimen Dengan Titik Tawangrejeni

Dari grafik hubungan antar debit dan sedimen di gambar 4.8, maka di dapat persamaan untuk debit sedimen tahunan sebagai berikut :

Persamaan pada titik stasiun gadang tahun 2018

$Q_s = 0,0135 Q_w = 0,1527$ dengan $R^2 = 0,87552$. Dengan nilai R^2 (korelasi) kuat/konsisten.

Berdasarkan hasil dari data yang di dapatkan, dapat kita ketahui bahwa debit sungai dan sedimen sangat berkaitan, sebab keduanya merupakan aliran yang membawa sedimen masuk ke waduk. Kemudian dari hasil tersebut juga dapat kita ketahui bahwa sumber sedimen yang terbesar berasal dari titik gadang yang di suplai sedimennya ke waduk Karangates.

3. *Trap Efficiency (Rendaman Jerat)*

Contoh perhitungan tahun 2016:

$$\alpha = 100$$

$$N = 1,5$$

Tampungan waduk = di dapat dari perubahan tampung waduk pada tabel 4,45. = 342,211 juta m^3

Inflow Tahunan = di peroleh dari tabel 4,56 tahun 2016. = 18.288,09 m^3

$$x = \frac{342.211}{18288,09} = 0,203$$

Trap efficiency :

$$Y = 100 \left(1 - \frac{1}{1 + 100 \times 0,203} \right) 1,5$$

$$= 9146,27 \%$$

Tabel 6. Perhitungan *Trap Efficiency* Menggunakan Metode Brune Numerik Rata Rata Pada Waduk Karangates

Tahun	α	N	Tampung Waduk	Inflow Tahunan	x	Trap Efisiensi (%)
			(juta m^3)	(juta m^3)		
2016	100	1,5	342.211	16831,99	0,203	9146,27
2017	100	1,5	342.035	15055,019	0,227	10815,31
2018	100	1,5	341.866	18288,09	0,187	8086,53

Tabel 7. Perhitungan *Trap Efficiency* Menggunakan Metode Brune Numerik Minimum Pada Waduk Karangates

Tahun	α	N	Tampung Waduk	<i>Inflow</i> Tahunan	x	Trap Efisiensi
			(juta m ³)	(juta m ³)		
2016	65	2,0	342.211	16831,99	0,203	11317,02
2017	65	2,0	342.035	15055,019	0,227	14151,15
2018	65	2,0	341.866	18288,09	0,187	9603,36

Tabel 8. Perhitungan *Trap Efficiency* Menggunakan Metode Brune Numerik Minimum Pada Waduk Karangates

Tahun	α	N	Tampung Waduk	<i>Inflow</i> Tahunan	x	Trap Efisiensi
			(juta m ³)	(juta m ³)		
2016	130	1,0	342.211	16831,99	0,203	3958,50
2017	130	1,0	342.035	15055,019	0,227	4426,50
2018	130	1,0	341.866	18288,09	0,187	3646,50

3. Umur efektif waduk karangates

Dengan persamaan di atas kemudian dihitung sisa umur efektif waduk setelah beroperasi 46 tahun sebagai berikut :

$$E = 8,09 \%$$

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

$$W_s = 31,603 \text{ ton/m}^3$$

$$V_s = W_s / \gamma_d$$

$$= 31,603 / 0,963$$

$$= 32.817 \text{ (m}^3\text{/tahun)}$$

$$L = 10.000 \text{ km}^3$$

$$S = V_s / L$$

$$= 32.817 / 10.000$$

$$= 3.2817 \text{ m}$$

$$V = 341.866 \text{ juta/m}^3$$

$$T = V / (V_s \cdot E)$$

$$= 341,866 / (32.817 \times 8,09) \times 46$$

$$= 35 \text{ tahun}$$

Tabel 9. Perhitungan Sisa Umur Efektif Waduk Karangates Yang Telah Beroperasi 46 Tahun.

E	γ_d	W_s	V_s	L	S	V	T
%	ton/m ³	ton/m ³	(m ³ /tahun)	m ²	m	juta/m ³	tahun
8,09	0,963	31,603	32.817	50.000	0,6563	341.866	35,72

Dari perhitungan analisa sisa umur efektif waduk karangates dengan menggunakan metode pendekatan empiris dengan efisiensi tangkapan waduk 8,09% memperoleh hasil 53 tahun.

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan pada Bab Empat, maka di peroleh hasil sebagai berikut :

- a. Besar laju erosi yang terjadi pada waduk Karangates berdasarkan hasil yang di peroleh dari titik Sub-DAS yang antara lain DAS lesti hulu, metro, bango-sari, ampo, manten, dan lesti-jaru dengan menggunakan metode MUSLE, di ketahui bahwa tingkat bahaya erosi yang terjadi pada waduk karangkates termasuk dalam kategori berat dalam perhitungan sampel tahun 2009 yaitu $198,510,165 \text{ m}^3/\text{thn}$ dan 2014 yaitu $257,448,847 \text{ m}^3/\text{thn}$, sedangkan tahun 2018 hasil $144,857,336 \text{ m}^3/\text{thn}$ dengan kategori sedang.
- b. Besar pengaruh Sedimentasi Daerah Aliran Waduk (DAW) pada waduk Karangates dengan menggunakan data debit dan sedimen pada dua titik yang di tinjau yaitu stasiun gadang dan Tawangrejeni tahun 2018 dimana dapat kita ketahui bahwa sumber sedimen yang terbesar berasal dari titik gadang dengan hasil $Q_s = 0,0182 \text{ kg/dt}$ dan $Q_w = 0,6705 \text{ kg/dt}$.
- c. Hasil dari perhitungan Sisa umur efektif waduk karangkates setelah beroperasi 46 tahun dengan menggunakan pendekatan persamaan empiris yaitu 35 tahun dengan efisiensi tangkapan waduk 8,09%.

2. Saran

Adapun beberapa saran yang penulis bisa berikan terkait dalam studi ini yang antara lain sebagai berikut :

- a. Perlu dilakukan penekanan terhadap laju erosi di kawasan hulu.
- b. Perlu adanya Pengendalian sedimen pada alur sungai untuk mengusahakan terjadinya pengendapan pada tempat tempat yang di kehendaki, contoh seperti membuat fasilitas bangunan DAM pengendali sedimen di alur anak sungai pada daerah hulu, pengerukan pada muara sungai, serta adanya kantong lumpur di waduk.
- c. Perlunya keterlibatan pihak pihak terkait pada pengelolaan waduk karangkates untuk pemeliharaan waduk agar dapat mempertahankan fungsi dan manfaatnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustian bayu, 2018. *Studi Erosi Dan Sedimentasi Pada Sub-Das Krueng Keureuto Kabupaten Aceh Utara*.jurnal teknik sipil. 1(1):142-150.
- Jasar Tirta 1. 2002. *Sedimentasi Parah Ancam Kematian Sejumlah Waduk Di Jatim*. Malang: Halaman Resmi Website Jasa Tirta 1 (Diakses pada tanggal 10 Juli 2019, Pukul 20.21 WIB).
- Morgan, R.P.C. 1980. *Soil Erosion*. London: Longman Group Limited. Di Kutip dari Roziqin arif, 2014. *Prediksi Erosi Permukaan Dan Evaluasi Kemampuan Lahan Dengan Pendekatan Geomorfologi Untuk Menentukan Priotitas Dan Arah Konservasi Tanah Di Kecamatan Kokapkabupate Kulon Progo*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Ray K. Linsley, Joseph B. Franzini, Djoko Sasongko, 1994. *Teknik Sumber Daya Air, ketiga*. Jakarta: Penerbit Erlangga.

- Rifardi, 1994. *Analisis Ukuran Butir Sedimen Perairan Estuaria, Sungai Oura Dan Sekitar Okinawa, Jepang Selatan*. Terubuk XX: 60-71. Di ambil dari <http://wacanapesisir.blogspot.com/2012/04/partikel-sedimen.html> (diakses 25 Juni 2019, Pukul 16.50 WIB).
- Perdana, A. 2006. *Pola Hubungan Antara Tata Guna Lahan Dengan Erosi Di Daerah Tangkapan Dan Nitrat Dalm Waduk Cisanti Berdasarkan Perhitungan Limpasan Hujan*. Tugas akhir. Teknik lingkungan ITB. Bandung.
- Priyanto Dwi. 1987. *Teknik pengangkutan sedimen*. Malang: Himpunan Mahasiswa Pengairan Fakultas Teknik Unibraw.
- Suripin. 2002. *Pelestarian Sumber Daya Tanah Dan Air*. Yogyakarta: andi.
- Susilo, Bowo, Dan Danar Guruh Pratomo. 2006. *Karakteristik Daerah Aliran Sungai Berdasarkan Analisis Morfometri*. Pertemuan Ilmiah Tahunan III- Teknik Geomatika ITS.
- Suyono Sosrodarsono, Ir, Kensaku Takeda, 1977. *Hidrologi Untuk Pengairan*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Wentworth, S.J. 1922. *A Scale Of Grade And Class Trems For Clastic Sediments*. The Journal of Geology 30: 377-392., diambil dari <http://wacanapesisir.blogspot.com/2012/04/partikel-sedimen.html> (Diakses 24 Juni 2019, Pukul 21.36 WIB).