

Kajian Distribusi Sedimentasi Terhadap Umur Rencana Waduk Ciawi Di Kabupaten Bogor

Wulandari Pingkan Siwu¹, Sri Sangkawati², Ignatius Sriyana³

Magister Teknik Sipil, Departemen Teknik Sipil Fakultas, Teknik Sipil Universitas Diponegoro^{1,2,3}

Email: wulanpingkan@student.undip.ac.id¹, srisangkawati@gmail.com²,

sriyana@lecturer.undip.ac.id³

DOI: <http://dx.doi.org/10.31869/rtj.v4i2.2321>

Abstrak: Waduk Ciawi terletak di bagian hulu sungai Ciliwung di Desa Cipayung Kecamatan Megamendung Kabupaten Bogor Provinsi Jawa Barat. Waduk Ciawi merupakan waduk eka guna (single purpose) yang dibangun untuk pengendalian debit puncak banjir maksimum di hulu Sungai Ciliwung dengan konsep dry dam. Perencanaan suatu bendungan tentunya tidak akan pernah terlepas dari rencana usia waduk, dalam perencanaannya selalu memperhitungkan jumlah sedimen yang akan masuk ke dalam waduk selama usia guna waduk karena pengendapan sedimen di dead storing dapat berdampak pada usia guna waduk, sehingga perlu dilakukan analisis untuk memprediksi besarnya sedimentasi dan pola distribusi sedimen pada Waduk Ciawi dalam upaya optimalisasi pengelolaan waduk. Memprediksi besarnya sedimentasi di Waduk Ciawi dilakukan berdasarkan pengaruh sedimen layang dan analisis distribusi sedimen menggunakan Metode Empiris Pengurangan Luas (*Empirical Area Reduction Method*). Berdasarkan hasil analisis, jumlah sedimen yang mengendap di Waduk Ciawi sepanjang umur rencana adalah sebesar 206.687,60 m³, dengan elevasi nol baru (*new zero elevation*) waduk setelah tahun ke 50 yaitu pada +512 m dan kapasitas tampungan efektif yang terisa sampai dengan umur efektif tercapai (T₅₀) sebesar 6.178.131 m³. Secara teoritis Waduk Ciawi masih bisa berfungsi dengan baik sampai dengan umur rencana terlampaui.

Kata Kunci: Waduk Ciawi, Usia Guna waduk, Laju Sedimentasi, Distribusi Sedimentasi.

PENDAHULUAN

Pembangunan waduk dilakukan untuk pengelolaan sumber daya air yang berfungsi untuk penyediaan air baku, penyediaan air irigasi, pengendalian banjir dan/atau pembangkit listrik tenaga air (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015). Berdasarkan fungsinya, waduk diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu waduk eka guna (*single purpose*) yaitu waduk yang dioperasikan untuk memenuhi satu kebutuhan saja, misalnya untuk kebutuhan khusus air irigasi, khusus air baku, khusus PLTA ataupun khusus pengendali banjir, dan waduk multi guna (*multi purpose*) yaitu yang berfungsi untuk memenuhi berbagai kebutuhan misalnya untuk memenuhi kebutuhan air, irigasi, air baku, pengendali banjir dan PLTA (Ernawan & Putri, 2017).

Waduk Ciawi merupakan waduk eka guna (*single purpose*) yang dibangun untuk pengendalian debit puncak banjir maksimum di hulu Sungai Ciliwung dengan konsep *dry dam*, dimana pada saat awal musim hujan, elevasi muka air waduk diatur berada pada elevasi yang rendah sehingga pada awal banjir, debit banjir akan mengalir secara bebas melalui terowongan (Balai Besar Wilayah

Sungai Ciliwung Cisadane, 2016). Bendungan kering (*dry dam*) adalah daerah tangkapan air yang dirancang untuk menampung air yang berlebih pada saat banjir terjadi untuk jangka waktu singkat yaitu 24 – 48 jam, hal ini untuk mencegah banjir terjadi di bagian hilir (<https://albertawater.com/flood-mitigation/dry-dams>). Waduk Ciawi merupakan waduk pertama di Indonesia yang menerapkan konsep *dry dam* (Balai Besar Wilayah Sungai Ciliwung Cisadane, 2016).

Perencanaan suatu bendungan tentunya tidak pernah terlepas dari rencana usia guna waduk, sehingga dalam perencanaan suatu waduk selalu memperhitungkan jumlah sedimen yang akan masuk ke dalam waduk selama usia guna waduk (Achsani, Bisri, & Suharyanto, 2015). Usia guna waduk ditentukan berdasarkan lamanya volume tampungan mati (*dead storage*) terisi oleh sedimen (Mukti, 2019). Sedimentasi di waduk biasanya berasal dari erosi lahan dan sungai sepanjang pengalirannya yang tersangkut sampai ke waduk dan akhirnya mengendap di dalam waduk (Wulandari, 2007). Setiap waduk memiliki pola distribusi sedimen yang berbeda-beda karena masing-masing mempunyai karakteristik dan sistem yang

berbeda. Selain itu, bentuk waduk, sistem operasi waduk dan ukuran butiran sedimen juga mempengaruhi distribusi sedimen di waduk. Pola distribusi sedimen pada waduk berguna dalam memperkirakan volume efektif yang tersedia sepanjang umur efektif waduk. Pengendapan sedimen di *dead storage* dapat berdampak pada usia guna waduk (Setyono, 2011).

Volume suatu tampungan secara bertahap tentunya akan mengalami pengurangan karena akumulasi sedimen yang masuk ke dalam waduk akan mengakibatkan terjadinya perubahan pada luas dan volume tampungan waduk (Issa, Al-Ansari, Sherwany, & Knutsson, 2015). Selain itu berkurangnya volume tampungan efektif pada waduk akibat sedimentasi tentunya akan berpengaruh terhadap kapasitas manfaat waduk (Soewarno & Syariman, 2008).

Berdasarkan permasalahan tersebut maka dibutuhkan kajian untuk memprediksi seberapa besar sedimentasi yang mengendap di dalam Waduk Ciawi, dan memprediksi akumulasi sedimen pada tiap-tiap elevasi di Waduk Ciawi. Memprediksi besarnya sedimentasi di Waduk Ciawi dilakukan berdasarkan pengaruh sedimen layang dan analisis distribusi sedimen untuk mengetahui akumulasi sedimen pada tiap-tiap elevasi waduk menggunakan *The Empirical Area Reduction Method* (Metode Empiris Pengurangan Luas).

METODE PENELITIAN

Analisis yang pertama adalah memprediksi besarnya sedimen yang mengendap di waduk. Memprediksi besarnya sedimentasi yang

terjadi di Waduk Ciawi berdasarkan pengaruh sedimen layang. Pengukuran sedimen layang (*suspended load*) dihitung dengan menggunakan persamaan (Asdak, 1995):

$$Q_s = 0,0864 \cdot Q_w \cdot C \quad (1)$$

dengan:

Q_s = Debit sedimen (ton/hari)

C = konsentrasi sedimen (mg/liter)

Q_w = debit aliran (m^3 /detik)

0,0864 merupakan faktor perubahan unit

Dari perhitungan tersebut dibuat lengkung laju sedimen yang merupakan garis regresi antara debit air (Q_w) dan debit sedimen (Q_s) dengan persamaan.

$$Q_s = a \cdot Q_w^b \quad (2)$$

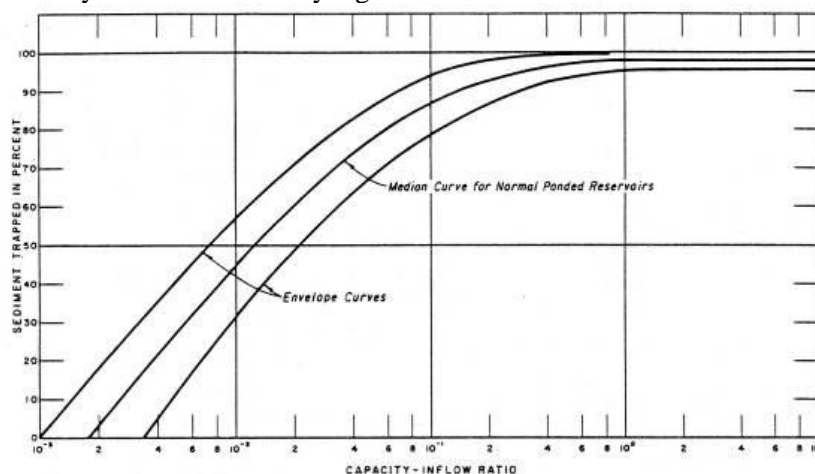
dengan:

Q_s = debit sedimen harian (ton/hari)

a = koefisien

b = eksponen

Memprediksi besarnya sedimen yang mengendap di waduk yaitu dengan mencari nilai efisiensi tangkapan sedimen (*trap efficiency*). Efisiensi tangkapan sedimen pada suatu waduk tergantung pada kapasitas tampungan waduk dengan jumlah air yang masuk ke dalam waduk dalam satu tahun (Legowo, Hadihardaja, & Rabuanawati, 2010). Nilai *trap efficiency* dinyatakan pada grafik hubungan antara kapasitas tampungan waduk dengan inflow tahunan seperti pada Gambar 1. Nilai *trap efficiency* akan berkurang seiring dengan beroperasinya waduk karena kapasitas tampungan waduk akan mengalami pengurangan yang diakibatkan oleh sedimen.



Gambar 1 Grafik hubungan *Capacity – inflow ratio*

Sumber : (Brune, 1953)

Selanjutnya memprediksi distribusi sedimen di waduk. Pola distribusi waduk dipengaruhi oleh beberapa factor. Factor yang paling mempengaruhi adalah jenis muatan sedimen, ukuran dan bentuk waduk serta lokasi dan ukuran outlet (Priyantoro, 1987). Ada beberapa metode yang digunakan untuk menentukan sebaran sedimentasi di waduk diantaranya metode penambahan luas dan pengurangan luas (*area increment and empirical area reduction method*) (Hosseinjanzadeh, Hosseini, Kaveh, & Mousavi, 2015). Analisis distribusi sedimen dalam penelitian ini menggunakan Metode Empiris Pengurangan Luas (*Empirical Area Reduction Method*), karena metode ini memiliki tingkat kesalahan yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan metode empiris penambahan luas (Tukaram, Nimbalkar, & Gidde, 2016).

Metode ini menerapkan bahwa distribusi sedimen di waduk tergantung pada beberapa faktor yaitu cara pengoperasian waduk, tekstur dan ukuran partikel sedimen, bentuk waduk dan volume sedimen yang mengendap di waduk (Yang, 2003). Langkah-langkah

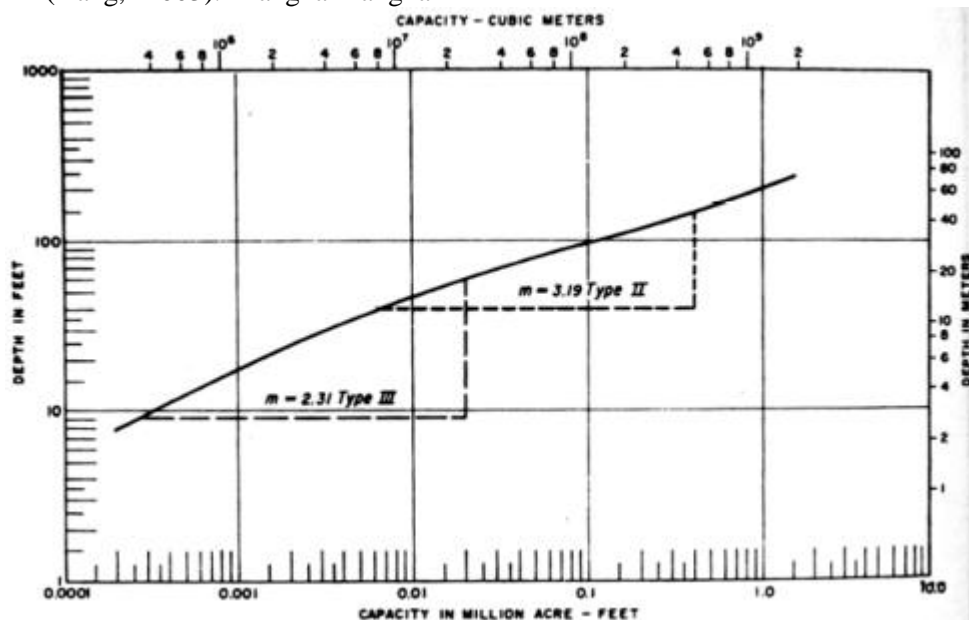
perhitungan distribusi di waduk adalah sebagai berikut (Morris & Fan, 2009).

- 1) Menentukan besarnya jumlah sedimen yang mengendap di waduk.
- 2) Memilih salah satu tipe kurva berdasarkan :
 - a) Bentuk waduknya dapat ditentukan berdasarkan tipe kurva seperti pada Tabel 1, dan untuk kemiringan m didapat dari hubungan antara kedalaman dengan kapasitas waduk yang diplotkan pada kertas logaritma pada Gambar 2. Apabila nilai m bervariasi maka dapat diambil nilai m yang paling dominan.

Tabel 1 Hubungan bentuk waduk dan tipe kurva

Bentuk Waduk	Tipe kurva	m
Danau	I	3,5 – 4,5
Dataran – kaki bukit	II	2,5 – 3,5
Bukit – pegunungan	III	1,5 – 2,5
Pegunungan	IV	1,0 -1,5

Sumber: (Morris & Fan, 2009)



Gambar 1 Hubungan kapasitas dan kedalaman bendungan

Sumber: (Morris & Fan, 2009)

- b) Sistem operasi waduk, dapat ditentukan berdasarkan Tabel 2.

Tabel 2 Hubungan sistem operasi waduk dan tipe kurva

Operasi waduk	Tingkat operasional	Klasifikasi	Tipe	Tipe kurva
Sedime	I	Danau	I	I

n terenda		Dataran-kaki bukit	II	I atau II
m di waduk		Bukit - Pegunungan	II	II
Surutan muka air	II	Danau Dataran-kaki bukit	I II	I atau II II

waduk sedang		Bukit - Pegunungan		II atau III
Surutan muka air waduk cukup besar	III	Danau Dataran-kaki bukit Bukit - Pegunungan	I II III	II II atau III III
Dalam keadaan normal waduk kosong	IV	Semua		IV

Sumber: (Morris & Fan, 2009)

c) Ukuran butiran sedimen, dapat ditentukan berdasarkan Tabel 3

Tabel 3 Hubungan ukuran butiran sedimen waduk dan tipe kurva

Ukuran butiran sedimen yang dominan	Tipe
Pasir atau material kasar	I
Lanau	II
Lempung	II

Sumber: (Morris & Fan, 2009)

3) Menentukan fungsi tak berdimensi (F) tiap-tiap elevasi untuk memperoleh kedalaman baru pada waduk yaitu dengan persamaan

$$F = \frac{S - V_h F}{H A_h} = \frac{S - V_h}{H A_h} \quad (3)$$

dengan:

S = total sedimen yang mengendap (m³)

H = kedalaman waduk mula-mula (m)

V_h = volume total waduk pada kedalaman elevasi H (m²)

Menentukan kedalaman relatif (p) dihitung dengan persamaan:

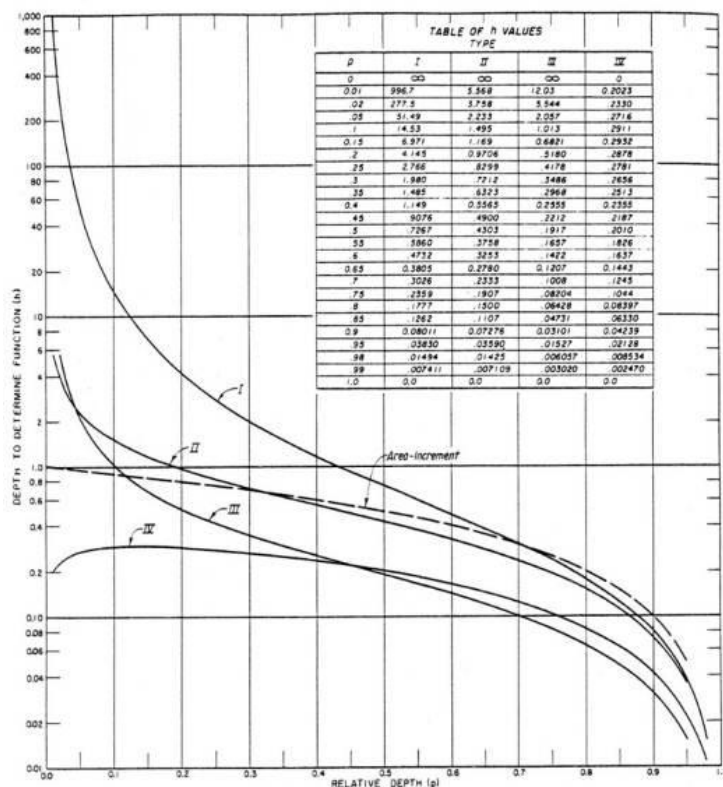
$$p = \frac{h}{H} \quad (4)$$

dengan:

h = kedalaman pada elevasi H (m)

H = kedalaman total mula-mula (m)

Menentukan elevasi dari endapan sedimen yang mencapai bendungan yang merupakan titik dasar kedalaman baru (*new zero elevation*) berdasarkan hasil perpotongan antara garis yang terbentuk melalui hubungan titik-titik nilai F dan nilai kedalaman relatif (p) dengan menggunakan grafik seperti pada Gambar 2.



Gambar 2 Grafik hubungan kedalaman relatif dan nilai F

- 4) Menentukan luas sedimen relatif (A_p) pada setiap kedalaman waduk berdasarkan tipe waduk yang sesuai dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{Tipe I: } & A_p = 5,047p^{1,85}(1-p)^{0,36} \\ & A_p = 5,047p^{1,85}(1-p)^{0,36} \quad (5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tipe II: } & A_p = 2,487p^{0,57}(1-p)^{0,41f} \\ & A_p = 2,487p^{0,57}(1-p)^{0,41f} \quad (6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tipe III: } & A_p = 16,967p^{1,15}(1-p)^{2,32} \\ & A_p = 16,967p^{1,15}(1-p)^{2,32} \quad (7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tipe IV: } & A_p = 1,48p^{-0,25}(1-p)^{1,34} \\ & A_p = 1,48p^{-0,25}(1-p)^{1,34} \quad (8) \end{aligned}$$

dengan:

A_p = luas sedimen relatif

p = kedalaman waduk relatif diukur dari dasar

- 5) Menghitung luas terkoreksi (A_o) di mana besarnya sama dengan luas tampungan awal pada elevasi nol baru dibagi dengan luas relatifnya.
- 6) Menghitung luas terdistribusi pada tiap elevasi dengan cara luas tampungan awal dikalikan dengan luas terkoreksi pada poin (5) untuk elevasi di atas nol baru.
- 7) Menghitung volume sedimen yang mengendap pada setiap elevasi dengan persamaan berikut:

$$V_{sh} = \frac{a_h + a_{h-1}}{2} \cdot \Delta h \quad V_{sh} = \frac{a_h + a_{h-1}}{2} \cdot \Delta h \quad (9)$$

dengan:

V_{sh} = volume sedimen pada kedalaman h (m^3)

A_h = luas terdistribusi pada kedalaman h (m^2)

a_{h-1} = luas terdistribusi pada kedalaman $h-1$ (m^2)

Δh = selisih kedalaman (m)

- 8) Menghitung volume efektif waduk setelah T-tahun di mana besarnya sama dengan tampungan awal waduk dikurangi volume sedimen yang mengendap pada setiap elevasi pada poin (7).

HASIL DAN PEMBAHASAN

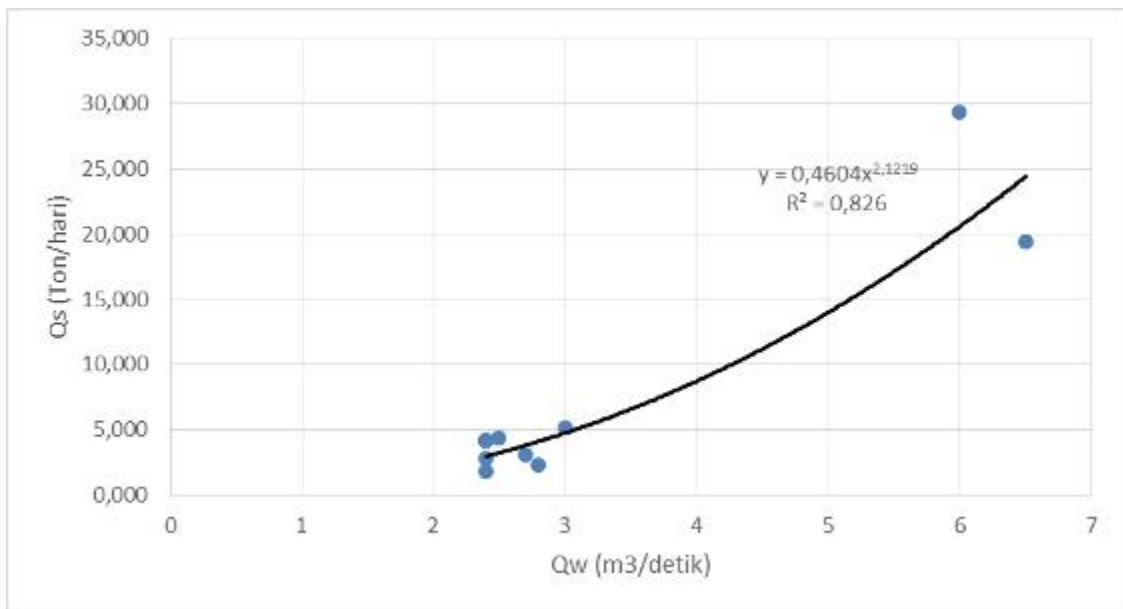
Sedimen yang Mengendap di Waduk

Memprediksi besarnya sedimen yang mengendap di Waduk Ciawi dihitung berdasarkan pengukuran sedimen layang, dan untuk sampel sedimen layang diambil dari stasiun pengukuran Ciboto tahun 2015 seperti disajikan pada Tabel 4. Dari hasil perhitungan sedimen layang dibuat lengkung laju sedimen (*sediment rating curve*) seperti pada Gambar 3 dan diperoleh persamaan regresi $y = 0,4604x^{2,1219}$ dengan koefisien korelasi (R) sebesar 0,826.

Tabel 4 Hasil perhitungan sedimen layang pada Stasiun Cibogo tahun 2015

No	Tanggal	Qw (m^3/dt)	Kadar sedimen (mg/l)	Qs (ton/hr)
1	02 Oktober 2015	2,4	13,1	2,72
2	05 Oktober 2015	2,5	19,7	4,26
3	07 Oktober 2015	2,7	13,1	3,07
4	09 Oktober 2015	3,0	19,7	5,11
5	12 Oktober 2015	2,8	9,2	2,23
6	15 Oktober 2015	2,4	19,7	4,09
7	19 Oktober 2015	2,4	8,2	1,70
8	25 Oktober 2015	6,0	56,5	29,29
9	26 Oktober 2015	6,5	34,5	19,36
10	29 Oktober 2015	2,4	19,7	4,09
11	30 Oktober 2015	2,4	19,7	4,09

Sumber: (Balai Besar Wilayah Sungai Ciliwung Cisadane, 2016)



Gambar 3 Sediment Rating Curve (Lengkung Laju Sedimen)

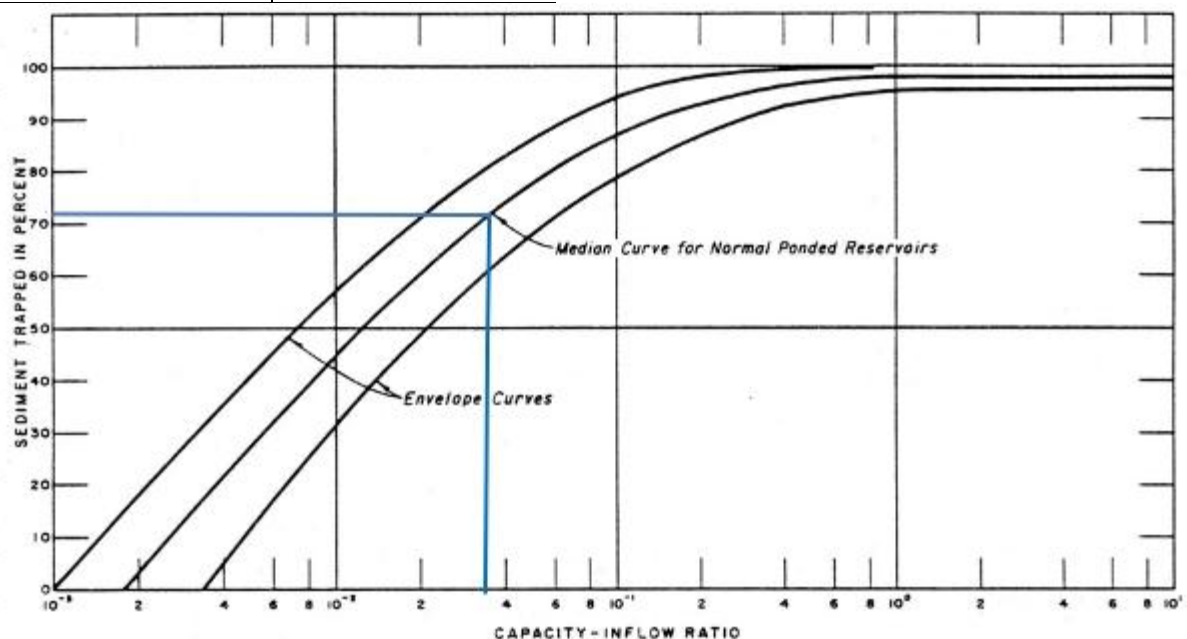
Berdasarkan dari persamaan regresi tersebut debit sedimentasi yang ada di Waduk Ciawi dapat ditentukan. Hasil perhitungan debit sedimentasi disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5 Debit sedimen tahun 2015

Bulan	Qs (ton/bln)
Januari	732,24
Februari	834,21
Maret	654,43
April	688,93
Mei	624,93
Juni	215,74
Juli	152,74

Agustus	171,95
September	145,59
Oktober	143,90
November	593,31
Desember	655,78
Total	5613,74

Kapasitas tampungan Waduk Ciawi adalah sebesar 14,7 juta m³ dengan inflow sebesar 155.840.400 m³ (Balai Besar Wilayah Sungai Ciliwung Cisadane, 2016), maka nilai *trap efficiency* adalah sebesar 71% seperti pada Gambar 4.



Gambar 4 Grafik hubungan *Capacity – inflow ratio*

Berdasarkan hasil perhitungan jumlah sedimen layang pada Tabel 5, diperoleh total sedimen potensial yang masuk ke waduk adalah sebesar 5.613,74 ton/tahun, sehingga total sedimen yang mengendap di Waduk Ciawi dapat dihitung yaitu sebesar 4.547,60 ton/tahun.

Waduk Ciawi direncanakan memiliki umur layanan selama 50 tahun, sehingga total

volume sedimen yang mengendap di waduk dapat dihitung yaitu sebesar 206.687,60 m³.

Distribusi Sedimen di Waduk

Prediksi distribusi sedimen di Waduk Ciawi dihitung dengan Metode Empiris Pengurangan Luas dan dari hasil perhitungan diperoleh elevasi nol baru (*new zero elevation*) pengendapan sedimen yaitu pada +512,00 meter. Akumulasi sedimen pada tiap-tiap elevasi waduk disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6 Hasil perhitungan luas dan volume tampungan sampai usia guna waduk berakhir

No	Elevasi	Kedalaman n	Awal Operasi (T ₀)		Setelah 50 Tahun (T ₅₀)	
			Luas m ²	Vol. m ³	Luas m ²	Vol. m ³
1	551	46	406.051,46	6.383.234,41	406.051	6.178.131
2	550	45	391.174,71	5.984.644,46	391.117	5.779.570
3	549	44	375.226,69	5.601.471,42	375.079	5.396.499
4	548	43	359.655,56	5.234.057,79	359.401	5.029.287
5	547	42	346.661,36	4.880.919,25	346.284	4.676.464
6	546	41	331.851,23	4.541.689,90	331.340	4.337.679
7	545	40	319.050,91	4.216.259,81	318.394	4.012.833
8	544	39	306.062,56	3.903.725,57	305.250	3.701.034
9	543	38	291.806,77	3.604.819,23	290.828	3.403.024
10	542	37	272.109,99	3.322.918,20	270.956	3.122.189
11	541	36	259.026,56	3.057.376,82	257.689	2.857.893
12	540	35	243.073,89	2.806.358,88	241.543	2.608.319
13	539	34	230.278,96	2.569.721,28	228.546	2.373.303
14	538	33	217.149,41	2.346.039,21	215.206	2.151.459
15	537	32	204.181,70	2.135.406,92	202.019	1.942.879
16	536	31	192.198,70	1.937.246,91	189.808	1.746.996
17	535	30	178.851,04	1.751.762,07	176.223	1.564.021
18	534	29	166.144,04	1.579.303,55	163.269	1.394.314
19	533	28	152.645,08	1.419.956,65	149.514	1.237.970
20	532	27	138.812,02	1.274.282,84	135.415	1.095.561
21	531	26	127.575,55	1.141.128,57	123.902	965.942
22	530	25	117.819,68	1.018.463,29	113.859	847.093
23	529	24	108.791,23	905.187,82	104.533	737.927
24	628	23	101.463,13	800.081,93	96.895	637.234
25	527	22	95.375,00	701.678,56	90.485	543.560
26	526	21	86.893,16	610.577,39	81.688	457.516
27	525	20	79.268,50	527.525,73	73.694	379.865
28	524	19	65.239,94	455.385,27	59.300	313.482
29	523	18	58.159,03	393.719,67	51.838	257.947
30	522	17	52.881,32	338.220,41	46.160	208.969
31	521	16	47.322,08	288.144,43	40.181	165.824
32	520	15	41.811,54	243.606,04	34.229	128.647
33	519	14	38.211,28	203.608,14	30.161	96.466
34	518	13	34.864,59	167.082,98	26.319	68.239
35	517	12	28.645,95	135.378,57	19.571	45.344
36	516	11	24.001,12	109.089,25	14.360	28.413
37	515	10	20.736,98	86.740,08	10.483	16.011
38	514	9	17.981,69	67.397,10	7.061	7.256
39	513	8	15.424,40	50.710,40	3.768	1.858

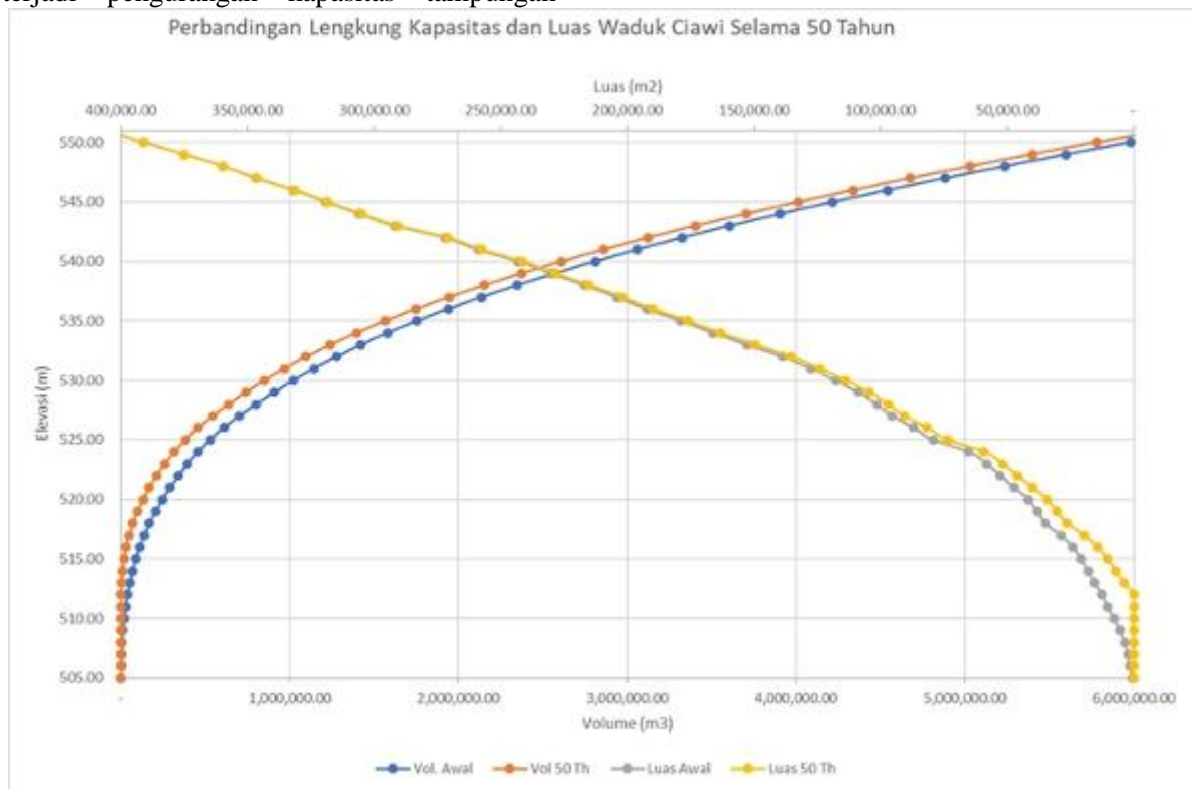
40	512	7	12.479,21	36.784,57	0	0
41	511	6	25.454,45	10.218,64	0	0

Berdasarkan dari hasil perhitungan sedimen pada tiap-tiap elevasi diperoleh kurva lengkung kapasitas tampungan waduk yaitu pada tahun awal operasi waduk (T_0) dan tahun umur efektif berakhir (T_{50}). Kurva lengkung kapasitas disajikan pada Gambar 5.

Kapasitas tampungan Waduk Ciawi setelah umur efektif berakhir (T_{50}) pada elevasi muka air normal terjadi pengurangan kapasitas tampungan yaitu sebesar 4,50% menjadi 4.337.579 m³ dari kapasitas awal operasi 4.542.689,90 m³, sedangkan pada elevasi muka air minimum kapasitas tampungan masih sebesar 10.218,64 m³ atau tidak terjadi pengurangan kapasitas dari awal operasi waduk dan pada elevasi muka air maksimum terjadi pengurangan kapasitas tampungan

sebesar 3,21% menjadi 6.178.131 m³ dari kapasitas awal 6.383.234,41 m³.

Perubahan kapasitas pada tiap tampungan waduk pada tahun awal operasi waduk sampai dengan tahun umur efektif berakhir tidak terjadi perubahan yang signifikan, sehingga secara teoritis Waduk Ciawi masih dapat berfungsi dengan baik sampai umur rencana terlampaui. Namun pengendapan sedimen pada elevasi muka air normal dan elevasi muka air minimum dapat menimbulkan permasalahan apabila tidak dilakukan monitoring maupun pemeliharaan terkait sedimentasi karena akan mempengaruhi fungsi waduk tersebut.



Gambar 5 Lengkung kapasitas – luas tampungan Waduk Ciawi

PENUTUP

Berdasarkan hasil pengukuran sedimen layang diperoleh total sedimen yang mengendap di Waduk Ciawi adalah sebesar 4.547,60 ton/tahun. Setelah umur efektif tercapai (T_{50}), volume sedimen yang mengendap di Waduk Ciawi diprediksi sebesar 206.688 m³, dimana kapasitas tampungan normal berkurang sebesar 4,50% dan tersisa

4.447.579 m³, sedangkan pada elevasi muka air minimum kapasitas tampungan masih sebesar 10.218,64 m³ atau tidak terjadi pengurangan kapasitas dan pada elevasi muka air maksimum terjadi pengurangan kapasitas tampungan sebesar 3,21%.

Perubahan kapasitas pada tiap tampungan waduk pada tahun awal operasi waduk sampai dengan tahun umur efektif berakhir tidak

terjadi perubahan yang signifikan, sehingga secara teoritis Waduk Ciawi masih dapat berfungsi dengan baik sampai umur rencana terlampaui. Namun perlu dilakukan monitoring sedimentasi setiap tahun sekali untuk awal masa operasi waduk dan meyusun kegiatan pemeliharaan terkait sedimentasi waduk agar waduk dapat bermanfaat sampai dengan umur efektif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Ir. Sri Sangkawati, MS dan Prof. Dr. Ir. Ignatius Sriyana, MS yang telah membimbing, memberi arahan dan masukan dalam penulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Achsan, Bisri, M., & Suharyanto, E. (2015). Analisis kecenderungan sedimentasi waduk bili-bili dalam upaya keberlanjutan usia guna waduk. *Jurnal Pengairan*, 6(1), 30–36.
- Asdak, C. (1995). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gaja Mada University Press.
- Balai Besar Wilayah Sungai Ciliwung Cisadane. (2016). *Laporan Akhir Sertifikasi Desain Bendungan Ciawi dan Bendungan Sukamahi (Lanjutan)*. Jakarta.
- Brune, G. M. (1953). Trap Efficiency of Reservoirs. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 34(3), 407–418.
- Dry Dam. (n.d.). Retrieved February 18, 2020, from <https://albertawater.com/flood-mitigation/dry-dams>
- Ernawan, & Putri, A. I. (2017). KAJIAN DISTRIBUSI SEDIMENTASI WADUK BENING KABUPATEN MADIUN (EMPERICAL AREA REDUCTION METHOD DAN AREA INCREMENT METHOD). *Media Teknik Sipil*, 15(1), 34–41.
- Hosseinjanzadeh, H., Hosseini, K., Kaveh, K., & Mousavi, S. F. (2015). New proposed method for prediction of reservoir sedimentation distribution. *International Journal of Sediment Research*, 30(3), 235–240.
- Issa, E. I., Al-Ansari, N., Sherwany, G., & Knutsson, S. (2015). Evaluation and modification of some empirical and semi-empirical approaches for prediction of area-storage capacity curves in reservoirs of dams. *International Journal of Sediment Research*, 32(1), 127–135.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2015). *PERATURAN MENTERI PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT REPUBLIK INDONESIA NOMOR 27/PRT/M/2015 TENTANG BENDUNGAN*. <https://doi.org/10.1377/hlthaff.2013.0625>
- Legowo, S., Hadihardaja, I. K., & Rabuanawati, S. (2010). Pengoperasian dan Umur Guna Waduk (Studi Kasus : Waduk Cimeta Padalarang). *Jurnal Teknik Sipil*, 13(4), 183–200.
- Morris, G. L., & Fan, J. (2009). *Reservoir Sedimentation Handbook, Design and Management of Dams, Reservoirs, and Watersheds for Sustainable Use*. McGrawHill. Co. New York. USA.
- Mukti, H. A. (2019). Erosion analysis in efforts to sustain the age of use of the kedungombo reservoir. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 8(10), 1931–1940.
- Priyantoro, D. (1987). Teknik Pengukuran Sedimen. Malang: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Setyono, E. (2011). Kajian Distribusi Sedimentasi Waduk Wonorejo, Tulungagung Jawa Timur. *Media Teknik Sipil*, 9(2), 132–141.
- Soewarno, & Syariman, P. (2008). Sedimentation Control: Part II. Intensive Measures the Inside of the Mrica Reservoir, Central Java. *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation*, 3(1), 17–24.
- Tukaram, S., Nimbalkar, P., & Gidde, M. (2016). Comparison of area reduction method and area increment method for reservoir sedimentation distribution - Case study Ujjani dam. *International Journal of Research in Advanced Engineering and Technology*, 2(3), 108–111.
- Wulandari, D. A. (2007). Penanganan sedimentasi waduk mrica. *Berkala Ilmiah Teknik Keairan*, 13(4), 264–271.
- Yang, C. T. (2003). *Sediment transport: theory and practice*. Krieger Pub.