

PENGARUH SEDIMENTASI TERHADAP FUNGSI WADUK KARIAN

Dhanang Samatha Putra¹, Wulandari Pingkan Siwu², Dyah Ari Wulandari³

¹Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang
E-mail: dhanangsamatha@students.undip.ac.id

²Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang
E-mail: wulanpingkan@students.undip.ac.id

³Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang
E-mail: dyah@lecturer.undip.ac.id

ABSTRACT

Karian Reservoir is one of The National Strategic Projects. Located in Lebak Regency, Banten Province, Karian Reservoir has 207.48 Mm³ effective storage, 46.4 Mm³ dead storage and 50 years lifetime. In the dam management, one of the problems that often occurs is sedimentation. To overcome this problem, we need to know the sedimentation rate and distribution pattern of Karian Reservoir for optimizing the reservoir management. To predict the distribution pattern of the reservoir we use Empirical Area Reduction Methods. The findings of the study show that the sediment volume of the reservoir throughout its effective life is 86.50 Mm³, the new zero elevation is +37.2 m, the remaining dead storage is 7.62 Mm³ and the remaining effective storage is 167.19 Mm³. This indicates that theoretically the reservoir will work well up to its effective life but the dam sedimentation management must be planned because sediment not only deposit on the dead storage but also on effective storage.

Keywords: *Karian, sediment rate, sediment distributions, empirical area reduction method*

PENDAHULUAN

Isu utama dalam pengelolaan waduk adalah permasalahan sedimentasi. Sedimentasi dapat berupa hasil dari proses erosi lahan pada Daerah Tangkapan Air (DTA) waduk maupun hasil dari longsor tebing sungai atau tebing pada waduk itu sendiri. Sedimen yang masuk ke waduk sebagian akan diendapkan ke dasar waduk dan sebagian lainnya akan dikeluarkan bersama aliran *outflow*.

Waduk Karian yang terletak di Provinsi Banten direncanakan dengan usia guna selama 50 tahun tidak terlepas dari ancaman permasalahan sedimentasi. Aliran sungai yang masuk ke dalam waduk karian berpotensi membawa sedimen dalam jumlah besar dari hasil erosi lahan yang terjadi. Sedimen yang terlarut bersama dengan aliran debit sungai akan diendapkan ke dalam waduk selama waduk beroperasi.

Perencanaan volume tampungan mati hanya memperhitungkan bahwa keseluruhan sedimen yang masuk akan diendapkan pada tampungan matinya saja, namun pada kenyataannya sedimen tidak hanya diendapkan pada tampungan mati. Sedimen dari hasil erosi lahan yang terjadi akan diendapkan keseluruhan permukaan waduk berdasarkan suatu pola yang dipengaruhi oleh bentuk waduk, jenis operasi dan jenis sedimen yang terbawa (Morris & Fan, 2009).

Perhitungan laju sedimen pada waduk dapat menggunakan perhitungan erosi lahan dan perhitungan sedimen layang yang terlarut bersama debit aliran sungai dan sedimen dasar (*bed load*). Sedimen layang yang terlarut pada aliran sungai juga merupakan hasil dari proses erosi lahan yang terjadi. Pada analisis ini penulis menggunakan perhitungan laju sedimen berdasarkan hasil

pengambilan sampel sedimen layang pada sungai.

Sedimen yang masuk ke dalam waduk akan mengendap pada setiap permukaan waduk. Pola distribusi sedimen di dalam waduk memiliki karakteristik yang berbeda untuk tiap waduk bergantung kepada bentuk waduk, sistem operasi dan ukuran butiran sedimennya. Pola distribusi sedimen pada waduk berguna dalam memperkirakan volume efektif yang tersedia sepanjang umur efektif waduk.

Berkurangnya kapasitas tampungan efektif waduk akibat sedimentasi berpengaruh terhadap kapasitas manfaat waduk terhadap pengendalian banjir, produksi listrik dan pangan (Soewarno & Syariman, 2008)

Berdasarkan permasalahan tersebut di atas, maka dibutuhkan kajian untuk memprediksi laju sedimen pada Waduk Karian selama umur efektif dan pola distribusi sedimennya dalam usaha pemeliharaan waduk yang lebih optimal dalam upaya keberlanjutan fungsi Waduk Karian.

METODOLOGI

Pengumpulan Data Sekunder

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Data pengukuran sampel sedimen
2. Data debit Sungai Ciberang
3. Data jenis sedimen Waduk Karian
4. Data hubungan elevasi-luas-tampungan awal Waduk Karian

Laju Sedimentasi di Waduk

Debit sedimen layang (*suspended load*) dihitung dengan menggunakan persamaan (Morris & Fan, 2009):

$$Q_s = 0.0864 \cdot Q_w \cdot C \quad (1)$$

dengan :

Q_s = debit sedimen (ton/hari)

C = konsentrasi sedimen (mg/liter)

Q_w = debit aliran (m³/detik)

0,0864 adalah faktor perubahan unit

Hubungan antara debit air (Q_w) dan debit sedimen (Q_s) dinyatakan dalam lengkung laju sedimen dengan plotting nilai Q_w dan Q_s ke dalam grafik logaritmik dan regresi fungsi power (Legono, 2002).

Hubungan keduanya dinyatakan dalam persamaan (Morris & Fan, 2009):

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

dengan :

Q_s = debit sedimen harian (ton/hari)

Q_w = debit aliran (m³/detik)

a = koefisien

b = eksponen

Distribusi Sedimen di Waduk

Analisis distribusi sedimen dalam penelitian ini menggunakan Metode Empiris Pengurangan Luas (*Empirical Area Reduction Method*), metode ini memiliki tingkat kesalahan yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan metode empiris penambahan luas (Tukaram, 2016).

Perbedaan antara dua metode tersebut adalah penggunaan tipe kurva untuk mendistribusikan sedimen. Pada dasarnya kedua metode tersebut dapat diselesaikan dengan langkah-langkah berikut ini (Morris & Fan, 2009):

1. Menentukan volume sedimen yang mengendap di waduk.
2. Memilih kurva untuk memplotkan titik hubungan antara nilai F dan kedalaman relatif (p). Tipe kurva ditentukan berdasarkan:
 - a. Bentuk waduk, ditentukan menurut dalam Tabel 1, penentuan nilai m (nilai hubungan kedalaman dan kapasitas waduk) didasarkan pada hubungan kedalaman dan tampungan waduk seperti pada Gambar 1. jika

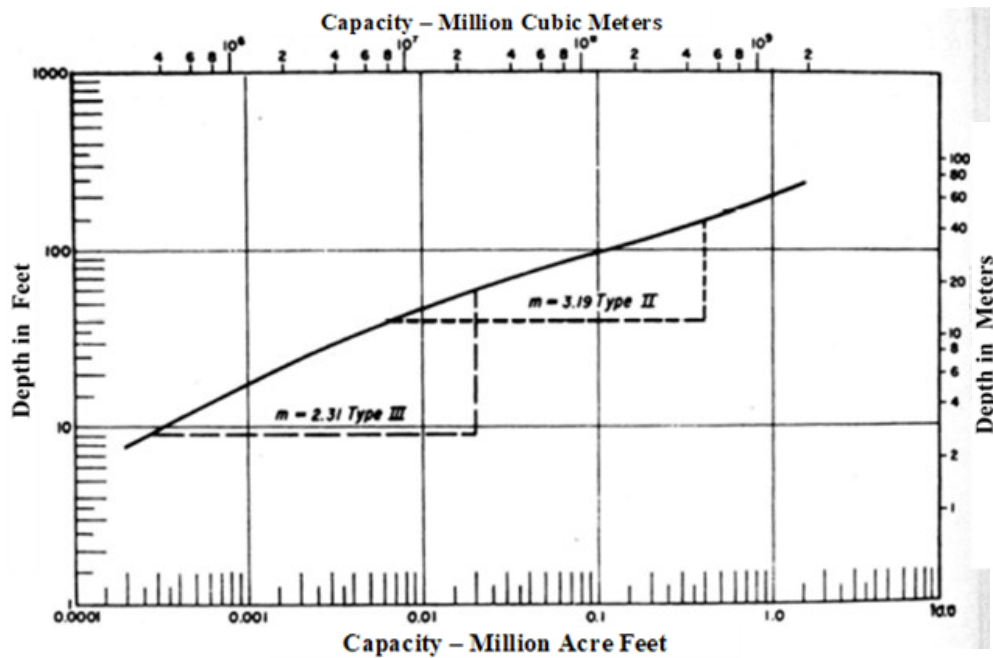
- nilai m bervariasi maka dapat diambil nilai m yang paling dominan
- Sistem operasi waduk, ditentukan menurut Tabel 2,
 - Ukuran butiran sedimen, ditentukan menurut Tabel 3.

Tabel 1. 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

Tabel 2. Sistem operasi waduk dan tipe kurva

Operasi waduk	Tingkat operasional	Tipe	Tipe Kurva
Sedimen terendam di waduk	I	I	I
		II	I atau II
		III	II
Surutan muka air waduk sedang	II	I	I atau II
		II	II
		III	II atau III
Surutan muka air waduk cukup besar	III	I	II
		II	II atau III
		III	III
Dalam keadaan normal waduk kosong	IV		IV



Gambar 1. Contoh penentuan nilai m (Nilai Hubungan Kedalaman dan Kapasitas Waduk)

Tabel 3. Ukuran butiran sedimen waduk dan tipe kurva

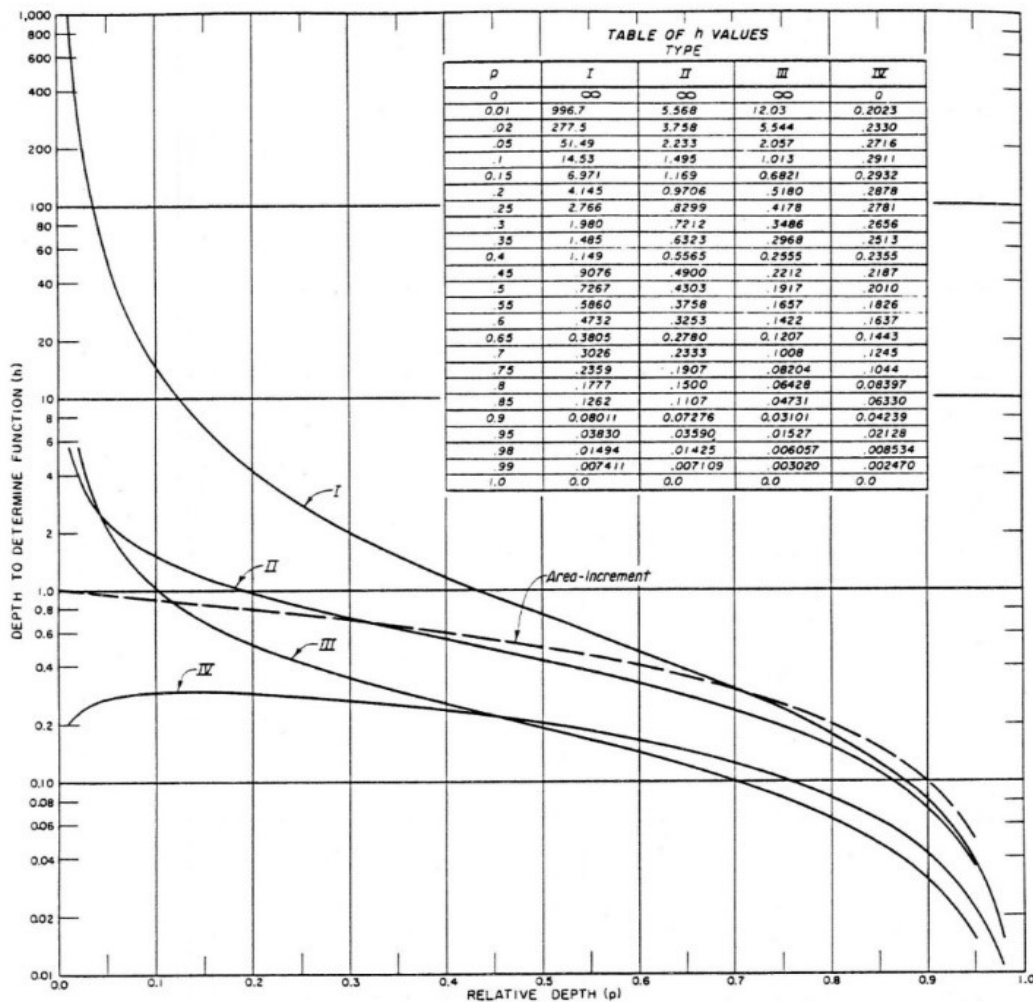
Ukuran butiran sedimen yang dominan	Tipe
Pasir atau material kasar	I
Lanau	II
Lempung	III

berdimensi (F) tiap-tiap elevasi dengan persamaan (Morris & Fan, 2009) :

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

dengan S = total sedimen yang mengendap (m³), H = kedalaman waduk mula-mula (m), V_h = volume total waduk pada kedalaman elevasi H (m³), A_h = luas total waduk pada kedalaman elevasi H (m²).

- a. Menentukan kedalaman nol baru pada waduk dengan menentukan Fungsi tak



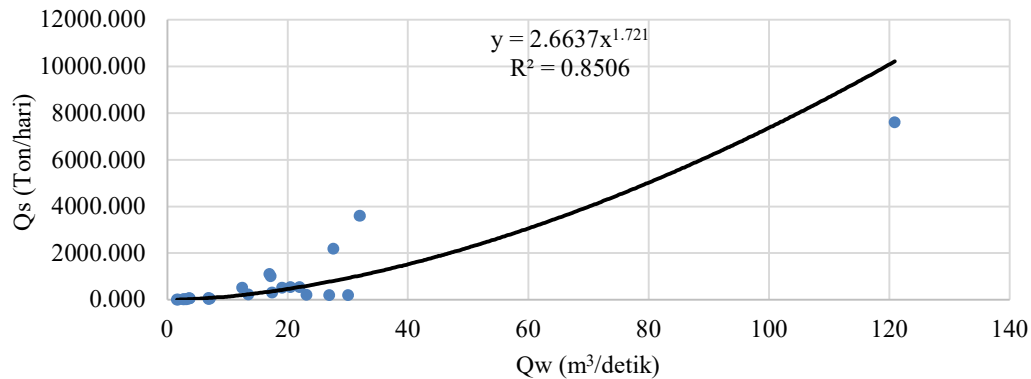
Gambar 2. Hubungan Kedalaman Relatif dan Nilai F (Morris & Fan, 2009)

Nilai p (kedalaman relatif) dapat dihitung dengan persamaan (Morris & Fan, 2009) :

$$p = \frac{h}{H} \tag{4}$$

dengan h = kedalaman pada elevasi H (m) dan H = kedalaman total mula-mula

(m). Nilai F dan p di plot kedalam grafik seperti pada Gambar 2 untuk dicari perpotongannya dengan kurva yang ditentukan sebagai dasar penentuan elevasi nol waduk yang baru setelah T-tahun.



Gambar 3. *Sediment Rating Curve*

- b. Mendistribusikan sedimen pada setiap kedalaman waduk berdasarkan kurva tipe waduk yang ditentukan dengan menghitung luas relatif (a) berdasarkan kedalaman relatif (p) menggunakan persamaan (Morris & Fan, 2009) :

tipe I : $a = 5,047p^{1,85} (1-p)^{0,36}$
 tipe II : $a = 2,487p^{0,57} (1-p)^{0,41}$
 tipe III : $a = 16,967p^{1,15} (1-p)^{2,32}$
 tipe IV : $a = 1,486p^{-0,25} (1-p)^{1,34}$

- c. Menghitung luas terkoreksi dengan membagi luas tampungan awal pada elevasi nol baru dengan luas relatifnya
- d. Menghitung luas terdistribusi pada tiap elevasi dengan mengkalikan luas tampungan awal dengan luas terkoreksi pada point (e) untuk elevasi diatas nol baru.
- e. Menghitung distribusi sedimen pada tiap-tiap elevasi dengan Persamaan (Morris & Fan, 2009) :

$$V_{sh} = \frac{a_h + a_{h-1}}{2} \cdot \Delta h \tag{5}$$

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)

- f. Menghitung tampungan aktual waduk setelah T-tahun dengan mengurangi tampungan awal dengan distribusi sedimen pada tiap-tiap elevasi pada point (g).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Laju Sedimentasi di Waduk

Prediksi laju sedimentasi di Waduk Karian dihitung berdasarkan pengukuran sedimen layang. Hasil perhitungan sedimen layang diambil dari sampel sedimen di stasiun pengukuran Sabagi, Sajira, Cileles dan Leuwidamar, selanjutnya dibuat lengkung laju sedimen seperti pada Gambar 3.

Tabel 4. Prediksi Volume Tampungan pada Tahun ke-50 Waduk Beroperasi (T_{50})

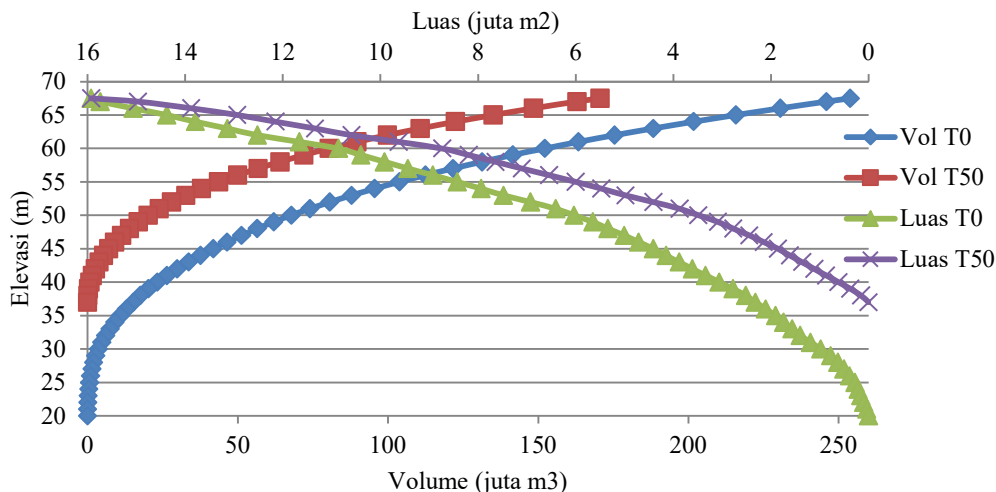
No	Elevasi	Kedalaman	Awal Operasi (T_0)		Setelah 50 Tahun (T_{50})	
			Luas juta m ²	Vol. juta m ³	Luas juta m ²	Vol. juta m ³
1	67,5	47,5	15,93	253,88	15,930	167,19
2	67	47	15,74	245,97	14,941	159,48
3	66	46	15,07	230,56	13,832	145,09
4	65	45	14,38	215,84	12,873	135,02
5	64	44	13,79	201,75	12,082	122,47
6	63	43	13,14	188,29	11,271	110,73
7	62	42	12,52	175,46	10,518	99,76
8	61	41	11,66	163,37	9,546	89,65
9	60	40	10,86	152,11	8,649	80,47
10	59	39	10,4	141,48	8,106	72,01
11	58	38	9,92	131,32	7,554	64,09
12	57	37	9,44	121,64	7,012	56,71
13	56	36	8,93	112,45	6,449	49,88
14	55	35	8,43	103,77	5,904	43,61
15	54	34	7,94	95,58	5,375	37,87
16	53	33	7,48	87,87	4,884	32,64
17	52	32	6,93	80,67	4,308	27,95
18	51	31	6,41	74	3,768	23,81
19	50	30	6,04	67,77	3,384	20,12
20	49	29	5,65	61,93	2,985	16,84
21	48	28	5,34	56,44	2,671	13,92
22	47	27	5,01	51,26	2,341	11,30
23	46	26	4,71	46,4	2,046	9,01
24	45	25	4,41	41,84	1,756	7,00
25	44	24	4,15	37,56	1,511	5,27
26	43	23	3,88	33,54	1,260	3,78
27	42	22	3,61	29,8	1,013	2,54
28	41	21	3,34	26,33	0,771	1,56
29	40	20	3,06	23,13	0,523	0,81
30	39	19	2,78	20,21	0,280	0,31
31	38	18	2,52	17,56	0,061	0,05
32	37.2	17.6	2,44	16,50	0	0
33	36	16	2.11	12.96	0	0
34	35	15	1.91	10.95	0	0
35	34	14	1.74	9.12	0	0
36	33	13	1.57	7.47	0	0
37	32	12	1.4	5.98	0	0

Tabel 4. Prediksi Volume Tampungan pada Tahun ke-50 ... (lanjutan)

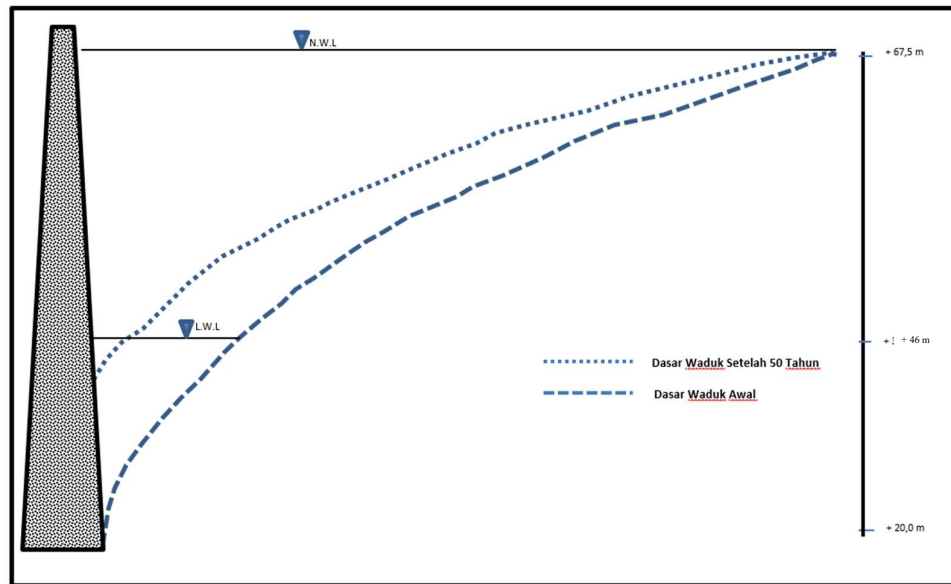
No	Elevasi	Kedalaman	Awal Operasi (T ₀)		Setelah 50 Tahun (T ₅₀)	
			Luas juta m ²	Vol. juta m ³	Luas juta m ²	Vol. juta m ³
38	31	11	1.19	4.69	0	0
39	30	10	0.98	3.6	0	0
40	29	9	0.78	2.72	0	0
41	28	8	0.63	2.02	0	0
42	27	7	0.51	1.45	0	0
43	26	6	0.39	1	0	0
44	25	5	0.28	0.66	0	0
45	24	4	0.22	0.41	0	0
46	23	3	0.16	0.22	0	0
47	22	2	0.1	0.09	0	0
48	21	1	0.04	0.02	0	0
49	20	0	0	0	0	0

Berdasarkan analisis diperoleh persamaan garis regresi $y = 2,6637x^{1,721}$ dan koefisien korelasi (r) sebesar 0,8506. Prediksi volume sedimentasi Waduk Karian menggunakan persamaan tersebut, dan diperoleh total sedimen potensial yang masuk ke waduk sebesar 1.941.873,06 ton/tahun. Sedimen yang mengendap di waduk setelah dikali faktor *trap efficiency* 88% dan ditambah muatan dasar (*bed load*) 10% (Morris & Fan, 2009) yaitu sebesar 1.903.035,60

ton/tahun. Laju sedimentasi dari hasil pengukuran sedimen layang ini jauh lebih besar dari rencana sebesar 670.000 ton/tahun (Balai Besar Cidanau Ciujung Cidurian, 2006). Dari peningkatan laju sedimen yang masuk ke waduk maka diperlukan upaya untuk menjaga fungsi waduk tetap berjalan sepanjang masa operasinya.



Gambar 4. Lengkung Kapasitas-Luas tampungan Waduk Karian



Gambar 5. Perubahan Elevasi Dasar Waduk Karian Selama Umur Efektif

Distribusi Sedimen di Waduk

Berdasarkan dari hasil perhitungan dengan Metode Empiris Pengurangan Luas diperoleh elevasi nol baru sedimen yang mengendap pada elevasi +37,2 m. Pada Waduk Karian elevasi intake ada pada elevasi +46, sehingga dari hasil analisis distribusi elevasi nol baru waduk akibat sedimentasi selama 50 tahun masih dibawah elevasi ambang intake yang ada. Distribusi sedimen untuk tiap-tiap elevasi disajikan pada Tabel 4, sedangkan perubahan kapasitas tampungan waduk disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perubahan Kapasitas pada Tiap Tampungan Waduk

Elevasi	Awal Operasi Juta m ³	Setelah 50 Tahun Juta m ³	Sisa %
<i>Dead Storage</i>	46,4	7,62	16,42%
<i>Effective Storage</i>	253,88	167,19	65,85%

Berdasarkan hasil analisis distribusi sedimen untuk tiap-tiap elevasi diperoleh kurva lengkung kapasitas tampungan waduk untuk tahun awal operasi waduk (T₀) dan tahun umur efektif berakhir (T₅₀),

dan kurva lengkung luas tampungan yang disajikan dalam Gambar 4 sedangkan perubahan elevasi dasar waduk sepanjang umur efektif digambarkan pada Gambar 5.

KESIMPULAN

Volume sedimentasi di Waduk Karian untuk selama 50 tahun (T₅₀) sebesar 86,50 juta m³.

Elevasi dasar waduk baru menggunakan metode empiris pengurangan luas untuk T₅₀ pada elevasi +37,2 m.

Kapasitas tampungan mati sampai T₅₀ tersisa sebesar 16,42%, sedangkan tampungan efektif yang tersisa sebesar 65,85%.

Secara teoritis Waduk Karian masih dapat berfungsi secara optimal sampai umur efektif (T₅₀) tercapai .

DAFTAR PUSTAKA

Balai Besar Cidanau Ciujung Cidurian. (2006). "*Detail Desain Bendungan Karian*". Serang.

- Legono, D. (2002). *"River Sedimentation, Yogyakarta: Master of Engineering in Natural Disaster Management"*.. Yogyakarta.
- Morris, G. L., & Fan, J. (2009). *"Reservoir Sedimentation Handbook"*.
- 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., Civil, S. M. E., & Engineering, H. (2016). *"Comparison of area reduction method and area increment method for reservoir sedimentation distribution - Case study Ujjani dam"*. 2(3), 108–111.