

Analisis Sedimentasi Dan Prediksi Distribusi Sedimen Di Waduk Tilong Kabupaten Kupang**Ghozali Mahmud¹, Suseno Darsono², Thomas Triadi P³**Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang^{1,2,3}
ghozalimahmud@student.undip.ac.id¹, sdarsono@hotmail.com², putranto@ft.undip.ac.id³DOI: <http://dx.doi.org/10.31869/rtj.v3i2.1788>

Abstrak: 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 longsoran tebing sungai atau tebing pada waduk itu sendiri. Waduk Tilong yang terletak di Desa Oelnasi Kabupaten Kupang Provinsi Nusa Tenggara Timur, merupakan salah satu waduk di Pulau Timor yang mengalami penurunan fungsi waduk akibat permasalahan sedimentasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis besaran volume sedimentasi yang terjadi selama kurun waktu 2002-2015 serta memprediksi pola distribusi sedimen yang mengendap di waduk dalam usaha pemeliharaan Waduk Tilong yang lebih optimal. Dari hasil penelitian ini, kurva lengkung kapasitas waduk hasil perhitungan distribusi sedimen berdasarkan survei bathimetri tahun 2015 akan dibandingkan dengan kurva lengkung kapasitas awal waduk tahun 2002. Analisis distribusi sedimen dalam penelitian ini menggunakan *Empirical Area Reduction Method*. Berdasarkan hasil penelitian, telah terjadi penurunan volume kapasitas waduk sebesar 3.060.231,99 m³ selama kurun waktu 2002-2015 dan ketinggian nol baru pada waduk adalah +72,83 m. Kapasitas volume total waduk Tilong yang pada tahun 2015 adalah sebesar 16,47 juta m³ sedangkan volume awal waduk di tahun 2002 adalah sebesar 19,07 juta m³ pada saat muka air normal.

Kata Kunci : Waduk Tilong, Sedimentasi Waduk, Distribusi Sedimen, *Empirical Area Reduction Method*

PENDAHULUAN

Waduk merupakan suatu wadah buatan yang digunakan untuk menampung air, limbah atau bahan cair lainnya yang terbentuk akibat dibangunnya suatu bendungan (Direktorat Jendral Sumber Daya Air, 2009). Sedimentasi waduk berasal dari erosi lahan dan sungai sepanjang pengalirannya yang terangkut sampai ke waduk dan akhirnya mengendap di dalam waduk. Faktor-faktor yang berperan dalam proses sedimentasi waduk adalah topografi, sistem/tata tanam, pola penggarapan lahan, pola penyebaran penduduk, curah hujan, dan jenis tanah (Wulandari, 2007). Sedimentasi secara nyata telah diketahui sebagai penyebab penurunan fungsi waduk. Salah satu waduk di Indonesia mengalami pengurangan volume waduk selama masa beroperasinya adalah waduk Cacaban di Kabupaten Tegal Provinsi Jawa Tengah. Selama 58 tahun tahun beroperasi, kapasitas volume waduk Cacaban telah berkurang sebesar 62% akibat laju sedimen yang masuk ke dalam tampungan waduk (WWS & Sundari, 2016). Kapasitas tampungan secara bertahap akan berkurang diakibatkan akumulasi sedimen yang masuk ke dalam

waduk yang berakibat terjadinya perubahan pada kurva luas dan volume tampungan waduk (Issa et al., 2016) yang pada akhirnya akan mempengaruhi kemampuan pelimpah dalam mengalirkan besaran bajir yang datang. 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.

Waduk Tilong terletak di Desa Oelnasi Kecamatan Kupang Tengah Kabupaten Kupang Provinsi Nusa Tenggara Timur. Bendungan ini dibangun pada tahun 1995-2001, dan secara geografis terletak pada koordinat 10° 10' 15,48" LS dan 123° 44' 43,42" BT. Bendungan Tilong merupakan bendungan tipe urugan batu dengan inti tanah kedap air di tengah. Tinggi bendungan utama 44,5 m dan panjang 162 m. Luas daerah aliran sungai sebesar 36,47 km² dengan kapasitas tampungan total (tahun 2002) 19,07 juta m³ dan kapasitas tampungan efektif (tahun 2002)

17,32 juta m³. Adapun manfaat dari Waduk Tilong adalah penyediaan air baku di Kota Kupang sebesar 150 liter/det dan penduduk di sekitar bendungan sebesar 2,5 liter/detik, penyediaan air untuk irigasi sebesar 1.484 ha, serta pengendalian banjir di hilir Sungai Tilong (Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara II, 2015).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis besaran volume serta memprediksi pola distribusi sedimen yang mengendap di Waduk Tilong dalam usaha pemeliharaan waduk yang lebih optimal dalam upaya keberlanjutan fungsi Waduk Tilong. Dari hasil penelitian ini, lengkung kapasitas hasil perhitungan distribusi sedimen berdasarkan survei bathimetri tahun 2015 akan dibandingkan dengan lengkung kapasitas awal waduk.

METODE PENELITIAN

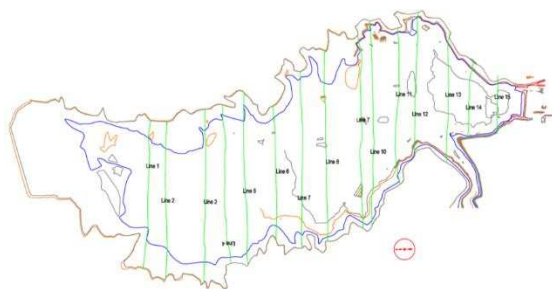
Pengumpulan Data Sekunder

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Data Teknis Bendungan Tilong.
2. Data hubungan elevasi-luas-tampungan awal (tahun 2002) Waduk Tilong.
3. Data hasil pengukuran echo sounding.

Analisis Sedimentasi (*Echo Sounding*)

Pengukuran sedimen pada Waduk Tilong digunakan dengan cara pengukuran elevasi dasar waduk saat selesai dibangun pada tahun 2002 dan membandingkan dengan perubahan dasar waduk pada tahun 2015. Perbedaan volume dari 2 *echo sounding* dari tahun yang berbeda menggambarkan sedimentasi yang terjadi. Pengukuran *echo sounding* dilakukan dengan beberapa *cross* yang melintang waduk dengan jarak tertentu. Gambar 1 memperlihatkan situasi waduk dengan penempatan *cross* yang dilakukan.



Gambar 1. Cross Section Waduk Tilong

Dari pengukuran penampang melintang Tahun 2015 dan kondisi eksisting tahun 2002 dihitung luasan *polygon* untuk masing-masing potongan. Selisih luasan kedua tahun pengukuran tersebut merupakan luasan sedimentasi pada potongan tersebut.

Volume sedimen dapat dihitung menggunakan pendekatan luas *polygon* diantara 2 *cross section* kemudian dikalikan dengan jarak antar *cross*-nya. Seperti pada Persamaan 1 berikut :

$$V_n = \frac{1}{2} \times (A_n + A_{n+1}) \quad (1)$$

Dengan:

V_n : Volume antar cross ke-n (m³)

Δh : Jarak antar cross ke-n (m)

A_{n+1} : Luasan cross ke n+1 (m²)

A_n : Luasan cross ke-n (m²)

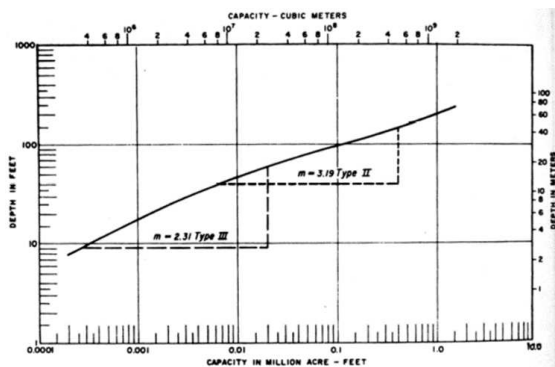
Distribusi Sedimen di Waduk

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 et al., 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, 2010) :

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 2. Jika nilai m bervariasi maka dapat diambil nilai m yang paling dominan.

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



Gambar 2. Hubungan Kedalaman dan Tampungan Waduk

- b. Sistem operasi waduk, ditentukan menurut Tabel 2.

Tabel 2. Bentuk 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	IV		IV

- c. Ukuran butiran sedimen, ditentukan menurut Tabel 3.

Tabel 3. Ukuran Butiran Sedimen Waduk dan Tipe Kurva

Ukuran Butiran Sedimen yang Dominan	Tipe
Pasir atau material kasar	I
Lanau	II
Lempung	III

3. Menentukan kedalaman nol baru pada waduk dengan menentukan Fungsi tak berdimensi (F) tiap-tiap elevasi dengan Persamaan 2 (Morris & Fan, 2010) :

$$F = \frac{S - V_h}{H A_h} \quad (2)$$

Dimana S = total sedimen yang mengendap (m^3), H = kedalaman waduk mula-mula (m), V_h = volume total waduk pada kedalaman elevasi H (m^3), A_h = luas

total waduk pada kedalaman elevasi H (m^2).

Nilai p (kedalaman relatif) dapat dihitung dengan Persamaan 3 (Morris & Fan, 2010) :

$$p = \frac{h}{H} \quad (3)$$

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

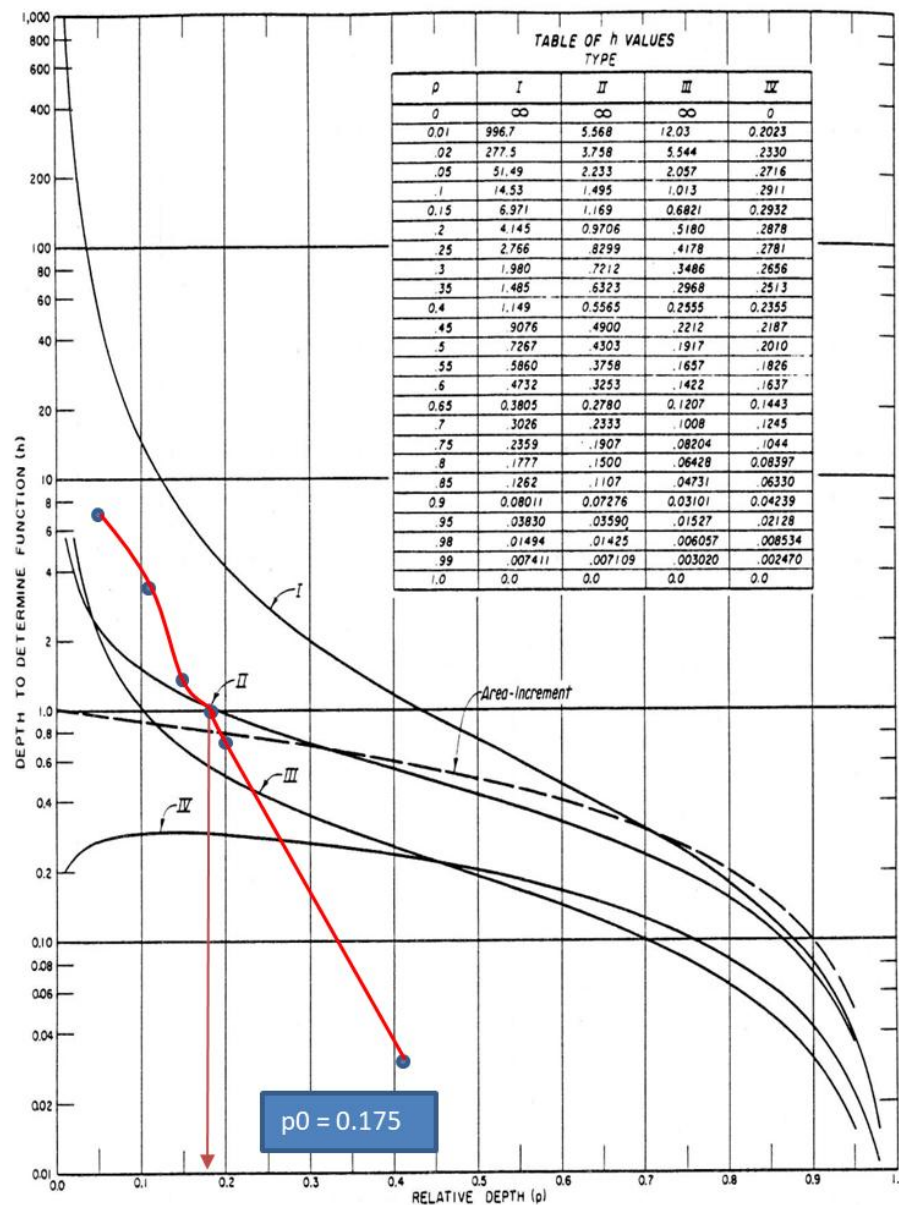
Nilai F dan p di plot kedalam grafik seperti pada Gambar 3 untuk dicari perpotongannya dengan kurva yang ditentukan sebagai dasar penentuan elevasi nol waduk yang baru setelah T-tahun.

- 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, 2010) :
 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 : $a = 1,486p^{-0,25} (1-p)^{1,34}$
- Menghitung luas terkoreksi dengan membagi luas tampungan awal pada elevasi nol baru dengan luas relatifnya.
- Menghitung luas terdistribusi pada tiap elevasi dengan mengalikan luas tampungan awal dengan luas terkoreksi pada point (e) untuk elevasi diatas nol baru.
- Menghitung distribusi sedimen pada tiap-tiap elevasi dengan Persamaan 4 (Morris & Fan, 2010) :

$$V_{sh} = \frac{a_h + a_{h-1}}{2} \cdot \Delta h \quad (4)$$

Dimana 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).

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

Gambar 3. Ploting Grafik Penentuan p_0 pada Waduk Tilong

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Sedimentasi (*Echo Sounding*)

Perhitungan volume sedimentasi total untuk Waduk Tilong periode tahun 2002-2015 dapat ditampilkan pada tabel 4. Dari perhitungan volume sedimentasi pada Waduk Tilong di atas didapatkan prediksi sedimentasi periode tahun 2002 sampai dengan 2015 adalah sebesar 3.060.231,99 m³.

Distribusi Sedimen di Waduk

Berdasarkan dari hasil perhitungan dengan Metode Empiris Pengurangan Luas diperoleh elevasi nol baru sedimen yang

mengendap pada elevasi +72,83 m. Pada Waduk Tilong elevasi intake ada pada elevasi +81,00, sehingga dari hasil analisis distribusi elevasi nol baru waduk akibat sedimentasi selama tahun 2002-2015 masih dibawah elevasi ambang intake yang ada. Distribusi sedimen untuk tiap-tiap elevasi disajikan pada Tabel 5. Pada saat muka air normal, kapasitas volume total Waduk Tilong pada tahun 2002 19,07 juta m³ menjadi 16,47 juta m³ seperti yang terlihat pada Tabel 5.

Tabel 4. Perhitungan Sedimentasi Pada Waduk Tilong Periode 2002-2015

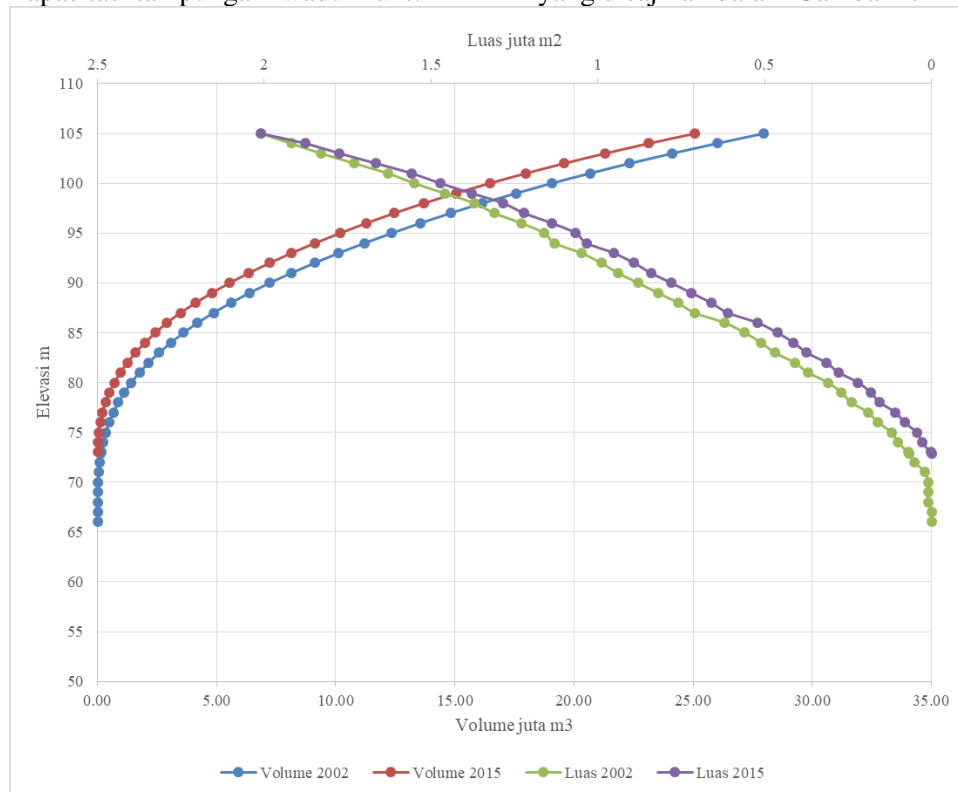
No	Cross	Luas m ²		Interval	Volume m ³		Ket
		Erosi	Sedimentasi		Erosi	Sedimentasi	
1	Line 1	0	4,925.66				
				64.12	0	266,992.52	
2	Line 2	0	3,402.24				
				81.57	0	187,541.52	
3	Line 3	0	1,196.06				
				86.01	0	145,995.30	
4	Line 4	0	2,198.79				
				68.4	0	147,527.13	
5	Line 5	0	2,114.87				
				56.01	0	112,077.57	
6	Line 6	0	1,887.18				
				91.78	0	203,598.13	
7	Line 7	0	2,549.47				
				98.87	0	270,396.76	
8	Line 8	0	2,920.27				
				112.11	0	296,763.44	
9	Line 9	0	2,373.88				
				104.66	0	223,352.66	
10	Line 10	0	1,894.28				
				98.58	0	219,010.18	
11	Line 11	0	2,549.02				
				144.82	0	299,128.25	
12	Line 12	0	1,582.02				
				139.61	0	246,528.50	
13	Line 13	0	1,949.66				
				209.24	0	308,851.47	
14	Line 14	0	1,002.47				
				150.29	0	132,468.56	
15	Line 15	0	760.37				
				Jumlah		3,060,231.99	m ³

Tabel 5. Distribusi Sedimen pada Tiap Elevasi pada Waduk Tilong Tahun 2002 – 2015

No	Elevasi	Kedalaman (H) m	Luas (Ah) juta m ²	Kapasitas (Vh) juta m ³	Kedalaman Relatif (p)	F	Luas Relatif	Luas Terdistribusi	Penambahan Volume	Vol Kumulatif	Luas Revisi	Vol Revisi
1	105	39	2.01	27.97	1.000	(0.32)	0.000	0.000	0.021	2.88	2.010	25.09
2	104	38	1.92	26.00	0.974	(0.31)	0.546	0.043	0.049	2.86	1.877	23.14
3	103	37	1.83	24.13	0.949	(0.30)	0.714	0.056	0.060	2.81	1.774	21.32
4	102	36	1.73	22.34	0.923	(0.29)	0.830	0.065	0.068	2.75	1.665	19.59
5	101	35	1.63	20.66	0.897	(0.28)	0.919	0.072	0.075	2.68	1.558	17.98
6	100	34	1.55	19.07	0.872	(0.26)	0.991	0.078	0.080	2.61	1.472	16.47
7	99	33	1.46	17.57	0.846	(0.25)	1.050	0.082	0.084	2.53	1.378	15.04
8	98	32	1.37	16.15	0.821	(0.25)	1.099	0.086	0.088	2.44	1.284	13.71
9	97	31	1.31	14.82	0.795	(0.23)	1.140	0.089	0.090	2.36	1.221	12.46
10	96	30	1.23	13.55	0.769	(0.22)	1.174	0.092	0.093	2.27	1.138	11.29
11	95	29	1.16	12.36	0.744	(0.21)	1.202	0.094	0.095	2.17	1.066	10.19
12	94	28	1.13	11.22	0.718	(0.19)	1.225	0.096	0.097	2.08	1.034	9.14
13	93	27	1.05	10.13	0.692	(0.17)	1.244	0.097	0.098	1.98	0.953	8.15
14	92	26	0.99	9.11	0.667	(0.16)	1.258	0.098	0.099	1.88	0.892	7.23
15	91	25	0.94	8.14	0.641	(0.14)	1.268	0.099	0.099	1.78	0.841	6.36
16	90	24	0.88	7.23	0.615	(0.12)	1.275	0.100	0.100	1.68	0.780	5.55
17	89	23	0.82	6.39	0.590	(0.10)	1.277	0.100	0.100	1.58	0.720	4.80
18	88	22	0.76	5.60	0.564	(0.09)	1.277	0.100	0.100	1.48	0.660	4.11
19	87	21	0.71	4.87	0.538	(0.07)	1.273	0.100	0.099	1.38	0.610	3.48
20	86	20	0.62	4.21	0.513	(0.05)	1.266	0.099	0.099	1.29	0.521	2.92
21	85	19	0.56	3.61	0.487	(0.03)	1.255	0.098	0.098	1.19	0.462	2.43
22	84	18	0.51	3.08	0.462	(0.00)	1.242	0.097	0.096	1.09	0.413	1.99
23	83	17	0.47	2.59	0.436	0.03	1.225	0.096	0.095	0.99	0.374	1.59
24	82	16	0.41	2.15	0.410	0.06	1.205	0.094	0.093	0.90	0.316	1.25
25	81	15	0.37	1.76	0.385	0.09	1.182	0.092	0.091	0.80	0.278	0.95
26	80	14	0.31	1.42	0.359	0.14	1.156	0.090	0.089	0.71	0.220	0.70
27	79	13	0.27	1.13	0.333	0.18	1.126	0.088	0.087	0.62	0.182	0.50
28	78	12	0.24	0.87	0.308	0.23	1.093	0.085	0.084	0.54	0.155	0.34
29	77	11	0.19	0.66	0.282	0.32	1.055	0.083	0.081	0.45	0.107	0.21
30	76	10	0.16	0.49	0.256	0.41	1.014	0.079	0.078	0.37	0.081	0.12
31	75	9	0.12	0.35	0.231	0.58	0.968	0.076	0.074	0.29	0.044	0.05
32	74	8	0.1	0.24	0.205	0.72	0.918	0.072	0.070	0.22	0.028	0.02
33	73	7	0.07	0.15	0.179	1.07	0.861	0.067	0.011	0.15	0.003	0.00
33 A	72.83	6.83	0.067	0.140	0.175	1.12	0.851	0.067	0.140	0.14	0.000	-
34	72	6	0.05	0.09	0.154	1.52	0.799	0.063	0.093	0.09	0.000	-
35	71	5	0.02	0.06	0.128	3.85	0.729	0.057	0.056	0.06	0.000	-
36	70	4	0.01	0.03	0.103	7.76	0.650	0.051	0.032	0.03	0.000	-
37	69	3	0.01	0.02	0.077	7.80	0.558	0.044	0.016	0.02	0.000	-
38	68	2	0.01	0.01	0.051	7.83	0.448	0.035	0.007	0.01	0.000	-
39	67	1	0	0.00	0.026	-	0.305	0.024	0.003	0.00	0.000	-
40	66	0	0	0.00	0.000	-	0.000	0.000	0.001	0.00	0.000	-

Berdasarkan hasil analisis distribusi sedimen untuk tiap-tiap elevasi diperoleh kurva lengkung kapasitas tampungan waduk untuk

tahun awal operasi (2002) waduk dan tahun 2015, dan kurva lengkung luas tampungan yang disajikan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan Lengkung Kapasitas dan Luas Waduk Tilong Tahun 2002 dan 2015

Permasalahan sedimentasi di Waduk Tilong nantinya akan berdampak pada pengurangan usia operasi waduk. Oleh karena itu, Pemerintah telah memberikan acuan pengelolaan waduk dalam bentuk Pedoman Pengelolaan Sedimentasi Waduk. Dalam pedoman tersebut, kegiatan pengelolaan sedimentasi waduk dikelompokkan dalam 3 (tiga) kegiatan usaha (Mukhlisin, 2007) yaitu :

- a. Meminimalkan beban sedimen yang masuk ke dalam waduk
Beberapa usaha yang dapat dilakukan antara lain :
 - Pembangunan Cekdam disepanjang aliran Sungai Tilong.
 - Perbaikan DAS dengan pendekatan sosial kemasyarakatan terkait pola tanam dalam berladang.
- b. Meminimalkan jumlah sedimen yang mengendap (sedimentasi) di dalam waduk
- c. Mengeluarkan endapan sedimen dari waduk
Beberapa usaha yang dapat dilakukan untuk mengeluarkan endapan sedimen

dari waduk antara lain dengan *flushing* dan *dredging*.

PENUTUP

Mengacu pada hasil dan pembahasan yang telah diuraikan sebelumnya maka diperoleh kesimpulan berikut :

- 1) Volume sedimentasi di Waduk Tilong selama kurun waktu tahun 2002-2015 sebesar 3.060.231,99 m³.
- 2) Elevasi dasar waduk baru menggunakan metode empiris pengurangan luas untuk 2015 pada elevasi +72,83 m.
- 3) Kapasitas volume total waduk Tilong yang pada tahun 2015 adalah sebesar 16,47 juta m³ dari volume awal waduk di tahun 2002 adalah sebesar 19,07 juta m³ pada saat muka air normal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penulisan hasil penelitian ini, terutama Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara II Kementerian PUPR.

DAFTAR PUSTAKA

- Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara II. (2015). *Laporan Akhir Penyusunan Rencana Tindak Darurat Bendungan Tilong di Kabupaten Kupang*. Kupang: Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara II Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Direktorat Jendral Sumber Daya Air. (2009). *Pedoman Konstruksi dan Bangunan Sipil, Survey dan Monitoring Sedimentasi Waduk*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Sumber Daya Air.
- Issa, E. I., Al-Ansari, N., Sherwany, G., & Knutsson, S. (2016). 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. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ijsrc.2015.12.001>
- Morris, G. L., & Fan, J. (2010). *Reservoir Sedimentation Handbook*. New York: McGraw-Hill Book Co.
- Mukhlisin, M. (2007). *Pengelolaan Sedimen Terpadu*. Yogyakarta: Program Magister Pengelolaan Bencana Alam (MPBA) Universitas Gadjah Mada.
- Tukaram, S., PT, N., & MR, G. (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.
- WWS, A., & Sundari, N. (2016). Studi Perubahan Volume Waduk Cacaban dengan Survei Pemeruman Waduk. *Jurnal Teknik Pengairan*, 7(2), 310–315.