

## PENINGKATAN PEMANFATAAN DANAU RAWA PENING

Dyah Ari Wulandari<sup>1)</sup>, Sriyana<sup>2)</sup>, Salamun<sup>3)</sup>, Dwi Kurniani<sup>4)</sup>, Albert Nico Tristanto<sup>5)</sup>,  
Zelly Rinaldi<sup>6)</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6)</sup>Departemen Teknik Sipil FT UNDIP, Jl. Prof. Soedarto, SH. Tembalang,  
Semarang, Jawa Tengah

Email: [dyah@lecturer.undip.ac.id](mailto:dyah@lecturer.undip.ac.id)<sup>1)</sup>, [sriyana@lecturer.undip.ac.id](mailto:sriyana@lecturer.undip.ac.id)<sup>2)</sup>,  
[salamun@lecturer.undip.ac.id](mailto:salamun@lecturer.undip.ac.id)<sup>3)</sup>, [dwikurniani@lecturer.undip.ac.id](mailto:dwikurniani@lecturer.undip.ac.id)<sup>4)</sup>,  
[albertnicotristanto@students.undip.ac.id](mailto:albertnicotristanto@students.undip.ac.id)<sup>5)</sup>, [zellyrinaldi@students.undip.ac.id](mailto:zellyrinaldi@students.undip.ac.id)<sup>6)</sup>

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v11i2.477>

(Received: January 2021 / Revised: March 2021 / Accepted: May 2021)

### Abstrak

Danau Rawa Pening mempunyai peranan sebagai reservoir alami yang dimanfaatkan untuk PLTA, sumber air baku, irigasi, perikanan, dan pariwisata serta pemeliharaan Sungai Tuntang. Salah satu permasalahan di Danau Rawa Pening adalah sedimentasi yang berdampak pada menurunnya kapasitas tampungan, oleh karena kondisi Danau Rawa Pening saat ini maka diperlukan upaya penanganan untuk meningkatkan pemanfaatan Danau Rawa Pening guna mendukung kegiatan irigasi pertanian, perikanan, pariwisata, supply air baku dan pembangkit listrik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis peningkatan pemanfaatan Danau Rawa Pening yang merupakan waduk alami, tidak mempunyai intake dan pelimpah seperti waduk – waduk pada umumnya. Pengaturan outflow dari danau ada di Bendung Gerak Jelok yang berjarak  $\pm 5$  km dari outlet danau. Oleh karena itu peningkatan pemanfaatan danau akan dilakukan dengan membuat intake dan pelimpah sehingga pengeluaran dapat diatur sesuai kebutuhan yang diperlukan Tahapan analisis yang dilakukan adalah analisis kebutuhan air, analisis ketersediaan air, analisis laju sedimentasi, analisis kebutuhan tampungan dan analisis kinerja. Berdasarkan hasil analisis peningkatan pemanfaatan Danau Rawa Pening dapat dilakukan dengan membuat intake pada elevasi + 460,5 m dan pelimpah pada elevasi puncak + 462,72 m. Pada kondisi ini dapat disediakan tampungan efektif sebesar 31,9 juta m<sup>3</sup>, tampungan mati sebesar 1,264 juta m<sup>3</sup> dan tampungan utk perikanan dan pariwisata sebesar 10,311 juta m<sup>3</sup>, dengan kinerja pelayanan 89%.

Kata kunci: *Sedimentasi, peningkatan pemanfaatan danau, Danau Rawa Pening*

### Abstract

Lake Rawa Pening has a function as a natural reservoir that is used for hydropower plants, raw water, irrigation, fisheries, tourism and maintenance of the Tuntang River. The problems in Lake Rawa Pening is sedimentation which has an impact on decreasing storage capacity. Because of the current condition of Lake Rawa Pening, efforts are needed to improve the use of Lake Rawa Pening to support irrigation, fisheries, tourism, raw water supply and power generation. The purpose of this study was to analyze the increase in the utilization of Lake Rawa Pening. Lake Rawa Pening is a natural reservoir, does not have intake and spillway like other reservoirs in general. The outflow arrangement from the lake is at Jelok Weir which is  $\pm 5$  km from the lake outlet. Therefore, increasing the use of lakes will be carried out by building intake and spillway so that release can be adjusted according to the demand. The stages of the analysis carried out are water demand analysis, water availability

analysis, sedimentation rate analysis, storage needs analysis and performance analysis. Based on the results of the analysis of increasing utilization of Lake Rawa Pening, it can be done by building intake at an elevation +460.5 masl and spillway at elevation of +462.72 masl. In this condition, an effective storage capacity of 31.9 million m<sup>3</sup>, a dead storage capacity of 1,264 million m<sup>3</sup> and a storage for fisheries and tourism of 10.311 million m<sup>3</sup> can be provided, with performance of 89%.

Keywords: *Sedimentation, Increased use of the lake, Lake Rawa Pening*

## 1. Latar Belakang

Danau Rawa Pening adalah danau semi alami yang merupakan salah satu dari 15 danau prioritas nasional, yang terletak ±45 km sebelah selatan Kota Semarang. Secara hidrologis, Danau Rawa Pening menjadi inlet bagi 16 sungai dengan 1 outlet yaitu Sungai Tuntang (Soeprbowati and Suedy, 2010). Rawa Pening merupakan sumber suplesi untuk Sungai Tuntang dengan manfaat irigasi, PLTA dan Air Baku. Danau ini perlu diselamatkan karena kondisinya yang sudah sangat memprihatinkan akibat eutrofikasi dan sedimentasi (Samudra, Soeprbowati and Izzati, 2013). Muatan sedimen dari anak sungai yang masuk ke danau lebih besar daripada muatan sedimen di outlet Rawa Pening, ini mengindikasikan bahwa Rawa Pening mengendapkan sedimen yang diterima dari anak sungainya (Sulastri, Henny and Handoko, 2016).

Problem sedimentasi dari hasil erosi daerah hulu Rawa Pening dan *blooming* tumbuhan air pada tubuh danau dengan populasi yang sangat padat telah mengganggu fungsi ekologis danau sebagai tampungan air. Permasalahan ini berdampak pada pengurangan volume air danau, sehingga perikanan dan PLTA di hilir juga menjadi berkurang produksinya (Soeprbowati and Suedy, 2010). Potensi banjir pun dapat terjadi jika kapasitas danau semakin mengalami pendangkalan, banjir dapat terjadi di hulu (Danau Rawa Pening dan sekitarnya) jika pintu Bendung Gerak Jelok sering ditutup dan sebaliknya.

Menurut (Raharjo, Falah and Cahyono, 2019) untuk mengatasi permasalahan ini diperlukan tindakan bersama (*collective action*) oleh seluruh pemangku kepentingan di Rawa Pening, tidak hanya *in-situ* di Rawa Peningnya saja namun juga *ex-situ* di daerah hulu sungai yang mengalir ke Rawa Pening. Penanganan yang telah dilakukan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) pada tahun 2016-2017 adalah pengerukan danau, pembangunan *chek dam*, dan pengendalian gulma air dengan pembersihan eceng gondok secara rutin (BBWS Pemali Juana, 2018). Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk memberikan usulan mengenai penanganan dan pengelolaan Danau Rawa Pening. Penelitian mengenai erosi, sedimentasi serta penanganannya telah dilakukan oleh (Aprilliyana, 2015) dan (Wulandari *et al.*, 2019). Sedangkan (Soeprbowati and Suedy, 2010), (Soeprbowati and Suedy, 2011), (Soeprbowati, 2012), (Samudra, Soeprbowati and Izzati, 2013), (Sulastri, Henny and Handoko, 2016) dan (Piranti, Rahayu and Waluyo, 2018) melakukan penelitian mengenai kualitas air Danau Rawa Pening dan alternatif penanganannya. Khusus untuk pengendalian dan pemanfaatan eceng gondok telah dilakukan penelitian oleh (Amariansah, 2011) dan (Yuliyanto, Astuti and Rahmawati, 2016). Kemudian penelitian mengenai strategi pengelolaan Danau Rawa Pening telah dilakukan oleh (Partomo *et al.*, 2011), (Gerhard and Susilowati, 2013), (Haryanti, 2017) dan (Raharjo, Falah and Cahyono, 2019).

Danau Rawa Pening kondisinya saat ini memerlukan upaya penanganan untuk meningkatkan pemanfaatan Danau Rawa Pening guna mendukung kegiatan irigasi pertanian, perikanan, pariwisata, supply air baku dan pembangkit listrik. Dari beberapa

penelitian dan usaha penanganan tersebut di atas belum ada yang melakukan penelitian mengenai upaya peningkatan pemanfaatan Danau Rawa Pening dengan peningkatan kapasitas dan pengaturan pelepasan air dari danau secara langsung sesuai kebutuhan. Sesuai (Nugroho, 2017) jumlah air yang dihasilkan oleh Daerah Tangkapan Air (DTA) Danau Rawa Pening pada tahun 2015 adalah sebesar 337 juta m<sup>3</sup>, dengan kisaran hasil air sebesar itu maka potensi sumber daya air DTA Rawa Pening cukup besar dan harus dimanfaatkan dengan seoptimal mungkin. Potensi ini dapat dimanfaatkan secara optimal dengan peningkatan kapasitas dan pengaturan pelepasan. Sehingga tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis peningkatan pemanfaatan Danau Rawa Pening dengan peningkatan kapasitas dan pengaturan pelepasan secara langsung.

## 2. Metode Penelitian

Danau Rawa Pening terletak di Kabupaten Semarang, Propinsi Jawa Tengah (Gambar 1). Instansi pengelola Danau Rawa Pening adalah Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Pemali Juana. Secara astronomi Danau Rawa Pening terletak pada 7<sup>o</sup>4' LS - 7<sup>o</sup>30' LS dan 110<sup>o</sup>24'46" BT - 110<sup>o</sup>49'06" BT (BBWS Pemali Juana, 2016). Skema sistem danau dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1 Lokasi Danau Rawa Pening (Google map, 2020)



Gambar 2 Skema sistem Danau Rawa Pening (BBWS Pemali Juana, 2016)

### 2.1 Pengumpulan Data

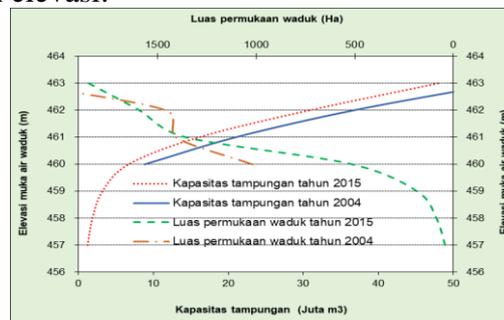
Dalam penelitian ini data yang digunakan adalah data sekunder yang didapat dari BBWS Pemali Juana. Adapun data yang diperlukan dan diperoleh adalah sebagai berikut:

a. Kebutuhan air

Danau Rawa Pening digunakan untuk memenuhi kebutuhan air baku, kebutuhan air irigasi, kebutuhan air PLTA Jelok, dan pemeliharaan sungai. Kebutuhan air baku sesuai debit kebutuhan dari PDAM yaitu sebesar 0,25 m<sup>3</sup>/dt (BBWS Pemali Juana, 2016). Kebutuhan air irigasi digunakan untuk melayani sawah di Daerah Irigasi Jelok Tuntang seluas 374 Ha, dengan Pola tanam Padi-Padi-Palawija dan MT I dimulai pada awal bulan November. Kebutuhan pemeliharaan sungai digunakan untuk menjaga agar ekosistem di sungai tidak mengalami kerusakan, sebesar 0,5 m<sup>3</sup>/dt (BBWS Pemali Juana, 2016). Kebutuhan operasional PLTA Jelok sebesar 8 m<sup>3</sup>/detik (Muhamad and Aldira, 2019).

b. Pengukuran Bathimetri Danau Rawa Pening

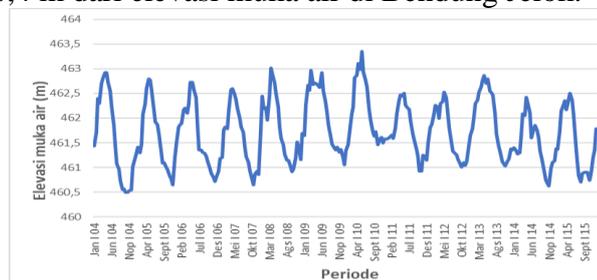
Berdasarkan pengukuran bathimetri Danau Rawa Pening tahun 2004 dan 2015 diperoleh kurva karakteristik Danau Rawa Pening seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3. Gambar 3 ini merupakan kurva hubungan antara kapasitas tampungan dengan elevasi dan hubungan antara luas permukaan genangan dengan elevasi.



Gambar 3 Kurva karakteristik Danau Rawa Pening Tahun 2004 dan 2015 (BBWS Pemali Juana, 2016)

c. Data elevasi muka air

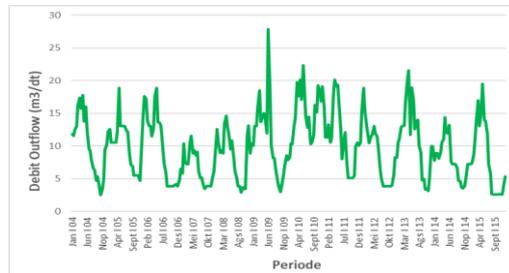
Berdasarkan laporan harian pengoperasian Bendung Gerak Jelok didapat data elevasi muka air di Bendung Jelok dan outflow dari Danau Rawa Pening periode tahun 2004 sampai dengan tahun 2015. Elevasi muka air di Bendung Jelok dapat dilihat pada Gambar 4, elevasi muka air Danau Rawa Pening lebih tinggi 0,4 m dari elevasi muka air di Bendung Jelok.



Gambar 4 Elevasi muka air di Bendung Gerak Jelok periode tahun 2004 – 2015 (BBWS Pemali Juana, 2016)

d. Outflow Danau Rawa Pening

Gambar 5 menunjukkan outflow yang keluar dari Danau Rawa Pening periode tahun 2004 sampai dengan tahun 2015 yang diperoleh dari laporan harian pengoperasian Bendung Gerak Jelok.



Gambar 5 Outflow dari Danau Rawa Pening periode tahun 2004 – 2015 (BBWS Pemali Juana, 2016)

- e. Evaporasi  
Data evaporasi rata-rata dari tahun 2004 sampai dengan tahun 2015 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Evaporasi rata-rata Danau Rawa Pening (BBWS Pemali Juana, 2016)

Periode	laju evaporasi (m/hari)	Periode	laju evaporasi (m/hari)
Jan I	0,0111	Jul I	0,0061
Jan II	0,0113	Jul II	0,0081
Peb I	0,0101	Ags I	0,0083
Peb II	0,0098	Ags II	0,0070
Mar I	0,0120	Sept I	0,0101
Mar II	0,0135	Sept II	0,0107
Apr I	0,0123	Okt I	0,0111
Apr II	0,0108	Okt II	0,0095
Mei I	0,0087	Nop I	0,0119
Mei II	0,0083	Nop II	0,0118
Jun I	0,0082	Des I	0,0131
Jun II	0,0092	Des II	0,0146

## 2.2 Skenario Peningkatan Pemanfaatan

Danau Rawa Pening merupakan waduk alami, tidak mempunyai intake dan pelimpah seperti waduk-waduk pada umumnya. Pengaturan outflow dari danau ada di Bendung Gerak Jelok yang berjarak ± 5 km dari outlet danau. Oleh karena itu peningkatan pemanfaatan danau akan dilakukan dengan membuat intake untuk mengatur pelepasan dan pelimpah untuk peningkatan kapasitas sesuai kebutuhan yang diperlukan.

## 2.3 Tahapan Analisis

Penelitian ini dilakukan dengan tahapan dan tahapan tersebut sebagai berikut:

- a. Analisis kebutuhan air  
Kebutuhan air dihitung berdasarkan data kebutuhan air yang selama ini di suplai dari Danau Rawa Pening.
- b. Analisis ketersediaan air  
Ketersediaan air diperoleh dengan menghitung *inflow* yang masuk ke danau menggunakan data catatan harian operasi Bendung Gerak Jelok. *Inflow* dihitung dengan persamaan neraca air waduk sebagai berikut (Nandalal and Bogardi, 2007):

$$I_i = S_{i+1} - S_i + X_i + E_i + SO_i \tag{1}$$

di mana:

$S_i$  = volume tampungan waduk (*storage*) pada awal periode  $i$

$S_{i+1}$  = volume tampungan waduk (*storage*) pada awal periode  $i+1$

$X_i$  = pelepasan/ *outflow* waduk pada periode  $i$

$I_i$  = *Inflow* waduk pada periode  $i$

$E_i$  = penguapan (evaporasi) waduk pada periode  $i$

=  $e_i \times A_i$

$e_i$  = laju evaporasi pada periode  $i$

$A_i$  = luas permukaan genangan air waduk pada periode  $i$

$SO_i$  = limpasan (*spill out*) waduk pada periode  $i$

=  $\max (S_i + I_i - E_i - X_i - S_{\max}, 0)$

c. Analisis laju sedimentasi

Analisis sedimentasi dihitung berdasarkan besarnya laju erosi daerah tangkapan air (DTA). Laju erosi DTA dianalisis dengan menggunakan metode USLE (Putra, Atmojo and Wulandari, 2020), sebagai berikut:

$$Ea = R.K.LS.C.P \quad (2)$$

di mana:

$Ea$  = banyaknya tanah tererosi per satuan luas per satuan waktu (ton/ha/tahun)

$R$  = faktor erosivitas hujan dan aliran permukaan (KJ/ha)

$K$  = faktor erodibilitas tanah (ton/KJ)

$LS$  = faktor panjang-kemiringan lereng

$C$  = faktor tanaman penutup lahan dan manajemen tanaman

$P$  = faktor tindakan konservasi praktis

Kemudian dihitung hasil sedimennya dengan persamaan berikut ini:

$$SY = Ea.SDR.A \quad (3)$$

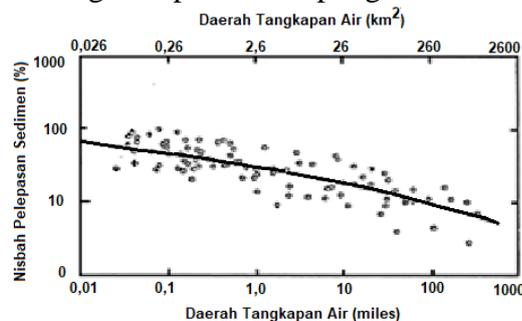
di mana:

$SY$  = hasil sedimen/ *sediment yield* (ton/tahun)

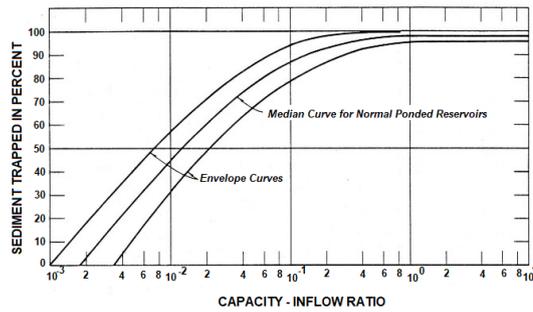
$SDR$  = *sediment delivery ratio*

$A$  = luas DTA (ha)

Nilai SDR ditentukan dengan nomograf SDR seperti terlihat pada Gambar 6. Satuan dari hasil sedimen dirubah ke satuan volume ( $m^3$ /tahun) dengan cara membagi hasil sedimen (ton/tahun) dengan berat jenisnya ( $ton/m^3$ ). Besarnya sedimen yang mengendap di danau (laju sedimentasi) dapat dicari dengan mengalikan besarnya hasil sedimen dengan *trap efficiency*. Nilai *trap efficiency* dicari dengan menggunakan Gambar 7 berdasarkan perbandingan kapasitas tampungan dan inflow tahunan ( $C/I$ ).

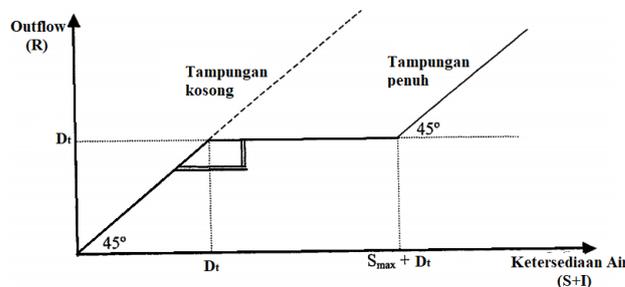


Gambar 6 Nomograf untuk menghitung nilai SDR (Morris and Fan, 1997)



Gambar 7 Kurva *trap efficiency* Metode Brune (Morris and Fan, 1997)

- d. Analisis kebutuhan tampungan  
 Pada analisis kebutuhan tampungan akan dihitung kebutuhan tampungan untuk menampung sedimen selama umur rencana (tampungan mati) dan kebutuhan tampungan untuk memenuhi kebutuhan air (tampungan efektif). Tampungan mati dihitung berdasarkan besarnya hasil sedimen yang diperoleh pada analisis laju sedimentasi, sedangkan kebutuhan tampungan efektif diperoleh dengan Metode Ripple. Kebutuhan tampungan yang didapat kemudian diplot pada kurva karakteristik waduk sehingga akan diperoleh elevasi dari intake dan pelimpah.
- e. Analisis kinerja  
 Pada analisis ini akan disimulasikan pengoperasian waduk sehingga akan diperoleh besarnya outflow sesudah penerapan skenario peningkatan pemanfaatan dan kinerja dapat dihitung. Kinerja yang diperhitungkan adalah keandalan, kelentingan dan kerawanan. Simulasi menggunakan metode *Standard Operating Policy* (SOP).



Gambar 8 Grafik *Standard Operating Policy* (Jain and Singh, 2003)

Kebijakan pola pengoperasian waduk berdasarkan SOP (Gambar 8) adalah *outflow* ditentukan berdasarkan ketersediaan air di waduk dikurangi kehilangan air. Sedapat mungkin *outflow* yang dihasilkan dapat memenuhi seluruh kebutuhan dengan syarat air berada dalam zona tampungan efektif. Berdasarkan Gambar 8 besarnya outflow dapat ditentukan sebagai berikut:

$$R_i = I_i + S_i - E_i - S_{maks} \text{ apabila } I_i + S_i - E_i - D_i > S_{maks} \quad (4)$$

$$R_i = I_i + S_i - E_i - S_{min} \text{ apabila } I_i + S_i - E_i - D_i < S_{min} \quad (5)$$

$$R_i = D_i \text{ apabila } S_{min} < I_i + S_i - E_i - D_i < S_{maks} \quad (6)$$

di mana:

- $S_i$  = volume tampungan waduk (storage) pada awal periode  $i$
- $S_{maks}$  = volume tampungan waduk (storage) maksimum

- $S_{\min}$  = volume tampungan waduk (storage) minimum  
 $R_i$  = outflow waduk pada periode  $i$   
 $D_i$  = target kebutuhan air pada periode  $i$   
 $I_i$  = Inflow waduk pada periode  $i$   
 $E_i$  = penguapan (evaporasi) waduk pada periode  $i$

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Kebutuhan Air

Suplai air dari Danau digunakan untuk memenuhi kebutuhan air baku, kebutuhan air irigasi, kebutuhan air PLTA Jelok, dan pemeliharaan sungai. Kebutuhan air selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2. Selain itu Danau juga digunakan untuk perikanan dan pariwisata didukung dengan menjaga selalu ada air yang tersedia di danau yang diwujudkan dalam bentuk penyediaan tampungan sedalam  $\pm 3$  m. Dengan kedalaman yang disediakan ini diharapkan air akan selalu ada sehingga kegiatan perikanan dan pariwisata dapat terus dilakukan.

#### 3.2 Ketersediaan Air

Debit Inflow eksisting Danau Rawa Pening berasal dari anak-anak sungainya dan mata air yang mengalir menuju danau. Debit Inflow eksisting dihitung berdasarkan persamaan keseimbangan air danau (Persamaan 1). Data yang tersedia adalah data laporan elevasi muka air danau dan outflow danau dari tahun 2004 sampai tahun 2015, serta bathimetri danau tahun 2004 dan tahun 2015, sehingga perhitungan inflow dilakukan dari tahun 2004 sampai dengan 2015, hasil analisis selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 2 Total kebutuhan air

Periode	PDAM	Irigasi	PLTA	Pemeliharaan	Kebutuhan Air Total	
	m <sup>3</sup> /dt	m <sup>3</sup> /dt	m <sup>3</sup> /dt	Sungai (m <sup>3</sup> /dt)	m <sup>3</sup> /dt	juta m <sup>3</sup>
Jan I	0,25	0,444	8	0,5	9,194	11,9
Jan II	0,25	0,456	8	0,5	9,206	12,7
Peb I	0,25	0,479	8	0,5	9,229	12,0
Peb II	0,25	0,449	8	0,5	9,199	10,3
Mar I	0,25	0,330	8	0,5	9,080	11,8
Mar II	0,25	0,626	8	0,5	9,376	13,0
Apr I	0,25	0,483	8	0,5	9,233	12,0
Apr II	0,25	0,450	8	0,5	9,200	11,9
Mei I	0,25	0,526	8	0,5	9,276	12,0
Mei II	0,25	0,536	8	0,5	9,286	12,8
Jun I	0,25	0,536	8	0,5	9,286	12,1
Jun II	0,25	0,569	8	0,5	9,319	12,1
Jul I	0,25	0,556	8	0,5	9,306	12,1
Jul II	0,25	0,506	8	0,5	9,256	12,8
Ags I	0,25	0,403	8	0,5	9,153	11,9
Sept I	0,25	0,653	8	0,5	9,403	12,2
Sept II	0,25	0,646	8	0,5	9,396	12,2
Okt I	0,25	0,532	8	0,5	9,282	12,0
Okt II	0,25	0,673	8	0,5	9,423	13,0
Nop I	0,25	0,310	8	0,5	9,060	11,7
Nop II	0,25	0,610	8	0,5	9,360	12,1
Des I	0,25	0,420	8	0,5	9,170	11,9
Des II	0,25	0,360	8	0,5	9,110	12,6

Tabel 3 Inflow danau Rawa Pening periode Jan – Juni Tahun 2004-2015

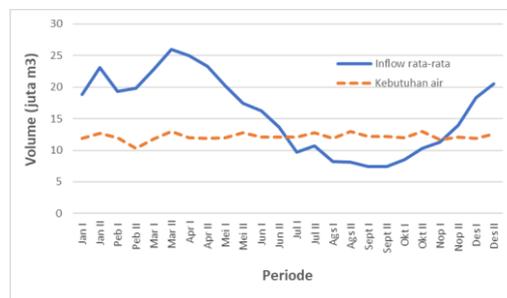
Tahun	Debit Inflow (juta m <sup>3</sup> )											
	Jan		Feb		Mar		Apr		May		Jun	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
2004	22,06	31,77	17,14	24,54	26,20	28,22	26,20	24,61	16,88	17,81	12,30	8,85
2005	21,62	18,55	18,25	25,28	21,65	25,22	26,91	27,87	15,54	14,19	15,06	19,01
2006	25,85	27,27	25,80	18,18	17,65	20,84	29,55	24,34	24,72	20,75	8,04	10,14
2007	12,59	23,68	22,08	10,37	22,70	26,42	18,69	16,21	13,03	12,93	10,93	10,95
2008	15,71	18,36	11,31	22,05	27,69	23,64	19,36	16,34	12,38	7,52	11,06	10,97
2009	28,92	29,53	16,47	29,28	20,12	22,00	20,25	22,88	19,21	25,21	31,39	22,27
2010	14,20	20,66	20,84	19,58	32,52	37,12	30,96	26,91	33,95	27,51	24,97	17,49
2011	16,51	18,69	17,36	16,92	23,13	33,18	30,66	27,27	28,98	21,48	15,19	12,71
2012	23,41	33,24	26,03	16,58	14,29	23,73	18,65	22,30	17,57	12,44	11,75	9,85
2013	21,09	23,04	20,79	20,11	22,29	29,94	30,42	28,17	19,32	24,32	24,18	17,71
2014	12,03	14,05	14,29	16,32	22,88	17,68	23,98	18,64	15,83	9,91	22,37	13,65
2015	11,92	18,62	21,17	17,84	23,06	24,21	24,86	24,47	24,61	15,29	8,31	10,47

Tabel 4 Inflow Danau Rawa Pening periode Juli – Des Tahun 2004-2015

Tahun	Debit Inflow (juta m <sup>3</sup> )											
	Juli		Ags		Sept		Okt		Nop		Des	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
2004	7,10	11,54	5,95	6,65	8,48	7,95	6,79	5,53	7,06	17,76	15,74	21,38
2005	13,70	15,17	9,83	12,50	9,77	10,98	7,65	9,26	7,55	17,32	22,34	30,19
2006	14,84	11,85	10,89	6,81	5,74	4,95	5,73	6,30	6,32	9,58	9,45	13,23
2007	8,87	6,21	6,26	6,39	5,76	4,37	6,27	10,96	9,93	7,70	26,43	31,43
2008	6,13	6,48	6,50	5,00	3,42	7,86	12,24	11,48	15,28	15,19	21,76	14,70
2009	10,71	8,76	7,45	7,97	6,75	6,00	5,92	5,24	9,06	9,91	9,47	17,60
2010	9,57	17,14	11,99	14,28	18,48	18,87	23,53	30,04	24,21	25,75	27,26	23,64
2011	10,80	13,70	8,67	5,80	5,46	3,07	7,77	14,37	14,65	15,07	19,71	23,75
2012	7,10	7,95	6,39	5,91	5,94	6,18	8,57	6,80	8,76	14,90	17,68	17,24
2013	12,87	14,29	11,13	12,94	5,56	6,88	6,96	8,43	7,46	12,81	16,04	17,44
2014	9,42	9,30	7,31	8,11	6,09	4,66	5,84	5,85	12,68	10,93	13,00	16,69
2015	5,22	6,35	6,24	4,65	7,11	7,09	4,49	9,26	13,13	11,13	20,78	19,25

3.3 Neraca Air

Perbandingan antara inflow rata-rata dengan kebutuhan air dapat dilihat pada Gambar 9 dapat dilihat pada periode Juli - November I terjadi kekurangan air dan pada periode November II–Juni terjadi kelebihan air.



Gambar 9 Neraca Air DTA Rawa Pening

Hal ini mengindikasikan bahwa pada wilayah ini memang memerlukan adanya tampungan untuk menampung air pada periode air lebih, sehingga dapat digunakan pada saat terjadi kekurangan air.

### 3.4 Laju Sedimentasi

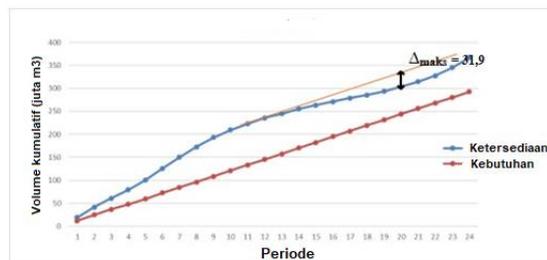
Hasil analisis Erosi DTA Danau Rawa Pening dengan menggunakan metode USLE dapat dilihat pada Tabel 5 diperoleh sedimen yang mengendap di danau pertahun adalah 24.385,942 m<sup>3</sup>.

Tabel 5 Perhitungan laju erosi DTA Rawa Pening

No	Sub DAS	Luas ha	R KJ/ha	K ton/KJ	LS	CP	Laju erosi ton/tahun
1	Durangsang	814,42	1.843,621	0,060	0,374	0,153	5.166,021
2	Galeh	4.530,60	1.843,621	0,106	1,087	0,118	113.142,539
3	Kledung	1.438,30	1.843,621	0,135	1,115	0,106	42.011,154
4	Ngreco	242,40	1.843,621	0,186	1,155	0,098	9.401,738
5	Malang 2	174,38	1.843,621	0,178	1,049	0,085	5.102,738
6	Malang 1	224,00	1.843,621	0,139	0,871	0,110	5.509,345
7	Legi	1.149,70	1.843,621	0,132	1,388	0,089	34.370,699
8	Praguman 2	190,70	1.843,621	0,080	0,361	0,210	2.146,279
9	Jenggul	225,38	1.843,621	0,057	0,367	0,230	2.009,105
10	Panjang	4.353,60	1.843,621	0,046	0,840	0,168	52.063,980
11	Gajah Barong	907,65	1.843,621	0,068	0,573	0,169	11.088,186
12	Parat	4.415,80	1.843,621	0,058	1,179	0,126	70.038,591
13	Seraten	3.985,30	1.843,621	0,038	0,838	0,177	41.759,831
14	Kedungringis	1.105,70	1.843,621	0,032	0,709	0,313	14.607,701
15	Tapen	325,85	1.843,621	0,070	0,406	0,204	3.466,291
16	Torong	1.768,70	1.843,621	0,145	0,848	0,030	11.973,970
17	Praguman 1	230,10	1.843,621	0,057	0,367	0,230	2.051,181
Jumlah							425.909,349
SDR							0,112
Hasil Sedimen (ton/tahun)							47.582,327
Hasil sedimen (m <sup>3</sup> /tahun) dengan berat jenis 1,6 ton/m <sup>3</sup>							29.738,954
Trap efisiensi (dengan C/I = 0,068)							0,85
Laju sedimentasi (m <sup>3</sup> /tahun)							25.278,111

### 3.5 Kebutuhan Tampungan

Peningkatan pemanfaatan danau akan dilakukan dengan membuat intake untuk mengatur pelepasan dan pelimpah untuk peningkatan kapasitas sesuai kebutuhan yang diperlukan, oleh karena itu dilakukan analisis kebutuhan tampungan efektif dan tampungan mati. Tampungan efektif danau dianalisis dengan menggunakan metode RIPPLE dengan menggunakan debit inflow rata-rata dari tahun 2004–2015. Hasil perhitungan kebutuhan tampungan efektif danau dapat dilihat pada Gambar 10, didapat kebutuhan tampungan efektif adalah 31,9 juta m<sup>3</sup>.



Gambar 10 Grafik kebutuhan tampungan efektif Metode Ripple

Tampungan efektif danau dianalisis dengan menggunakan metode RIPPLE dengan menggunakan debit inflow rata-rata dari tahun 2004–2015. Hasil

perhitungan kebutuhan tampungan efektif danau dapat dilihat pada Gambar 10, didapat kebutuhan tampungan efektif adalah 31,9 juta m<sup>3</sup>.

Untuk operasi PLTA Optimum, ketinggian muka air danau adalah +463,3 mdpl (BBWS Pemali Juana, 2016). Head minimum yang diperlukan untuk pengoperasian PLTA Jelok adalah 141,25 m. Elevasi turbin +319,25 mdpl sehingga elevasi muka air danau minimal untuk operasi PLTA adalah +460,5 mdpl (Sasmita, 2014), oleh karena itu ditetapkan elevasi tampungan minimal +460,5 mdpl. Berdasarkan Gambar 3 pada pengukuran tahun 2015 diperoleh kapasitas tampungan pada elevasi +457,5 mdpl adalah sebesar 1,58 juta m<sup>3</sup>. Dengan hasil sedimen sebesar 25.278,111 m<sup>3</sup>/tahun maka dalam waktu 50 tahun diperlukan tampungan sebesar 1,264 juta m<sup>3</sup>. Untuk tampungan sebesar 1,264 juta m<sup>3</sup> dari Gambar 3 pada pengukuran tahun 2015 diperoleh elevasi +457,01 mdpl. Sehingga ruang tampungan yang dapat disediakan untuk memenuhi kebutuhan perikanan dan rekreasi adalah tampungan dari elevasi +457,01 mdpl sampai dengan elevasi +460,5 mdpl yaitu sebesar 10,311 juta m<sup>3</sup>.

Batas elevasi tampungan minimum +460,5 mdpl berdasarkan perhitungan sebelumnya sudah cukup aman untuk menyediakan tampungan mati dan tampungan untuk kebutuhan perikanan dan pariwisata, sehingga intake dapat diletakkan pada elevasi + 460,5 mdpl. Tampungan efektif yang diperlukan adalah 31,9 juta m<sup>3</sup>, tampungan ini dapat disediakan pada elevasi +462,72 mdpl. Sehingga elevasi puncak pelimpah adalah + 462,72 mdpl.

### 3.6 Kinerja

Berdasarkan batas tampungan minimum dan maksimum yang telah diperoleh kemudian dilakukan simulasi pengoperasian dengan metode SOP, sehingga kinerja danau pada kondisi sesudah ada peningkatan kapasitas tampungan dan pengaturan pengeluaran lewat intake dapat diketahui dan dibandingkan dengan kinerja eksisting berdasarkan data dari tahun 2004 sampai dengan tahun 2015. Untuk penilaian kinerja apabila target kebutuhan tidak terpenuhi 100% maka danau dianggap gagal dalam memenuhi kebutuhan. Hasil kinerja dapat dilihat pada Tabel 6, dengan peningkatan kapasitas menghasilkan keandalan 89% hal ini lebih baik dari kinerja eksisting yang hanya 54%. Dengan peningkatan kapasitas diperlukan 3,3 periode untuk kembali ke keadaan sukses dari keadaan gagal, hal ini lebih cepat dari kondisi eksisting yang membutuhkan 7,82 periode. Defisit maksimum dan rata-rata yang dihasilkan juga lebih kecil daripada kondisi eksisting. Secara keseluruhan dapat dikatakan kinerja danau dengan peningkatan kapasitas tampungan lebih baik dari kondisi eksisting.

Tabel 6 Kinerja Danau Rawa Pening

No.	Kinerja	Eksisting	Dengan peningkatan kapasitas tampungan
1	Keandalan (%)	54	89
2	T gagal	7,82	3,3
3	Kelentingan	0,13	0,3
4	Rata - rata defisit ratio	3,07	1,1
5	Maksimum defisit ratio	0,73	0,72
6	Maksimum defisit (juta m <sup>3</sup> )	9,53	8,78
7	Rata - rata defisit (juta m <sup>3</sup> )	2,25	0,47

## **4. Kesimpulan dan Saran**

### **4.1 Kesimpulan**

Peningkatan pemanfaatan Danau Rawa Pening dilakukan dengan membuat intake dan pelimpah. Intake untuk mengatur pelepasan dan pelimpah untuk peningkatan kapasitas. Berdasarkan hasil analisis didapat intake pada elevasi + 460,5 m dan pelimpah pada elevasi puncak + 462,72 m. Pada kondisi ini dapat disediakan tampungan efektif sebesar 31,9 juta m<sup>3</sup>, tampungan mati sebesar 1,264 juta m<sup>3</sup> dan tampungan utk perikanan dan pariwisata sebesar 10,311 juta m<sup>3</sup>. Kinerja pelayanan meningkat dari 54% pada kondisi eksisting menjadi 89% pada kondisi peningkatan kapasitas.

### **4.2 Saran**

Untuk pengaturan pelepasan yang optimal perlu dilakukan studi optimasi operasi waduk/danau yang akan menghasilkan pola operasi yang optimal sebagai pedoman pengoperasian. Diperlukan lebar pelimpah yang menghasilkan tinggi air diatas pelimpah yang rendah mengingat adanya tanggul jalur kereta api Tuntang-Ambarawa yang berada pada ketinggian + 465 mpdl.

### **Ucapan Terima Kasih**

Terimakasih kepada Fakultas Teknik Undip yang telah mendanai penellitian ini melalui Hibah Penelitian Strategis RKAT tahun 2020.

### **Daftar Kepustakaan**

- Amariansah, W, 2011. Klante Beton, Bangunan Pengendali Penyebaran Enceng Gondok di Rawa Pening yang Berfungsi Sebagai Jembatan Penghubung Antar Kecanatan. *Majalah Ilmiah Universitas Pandanaran*, 9(20), pp. 1–21. Available at: <https://www.selasar.com/eceng-gondok/>.
- Aprilliyana, D, 2015. Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan Sub DAS Rawapening terhadap Erosi dan Sedimentasi Danau Rawapening. *Jurnal Pembangunan Wilayah & Kota*, 11(1), pp. 103–116. doi: 10.14710/pwk.v11i1.8661.
- BBWS Pemali Juana, 2016. Laporan Analisa Neraca Air Study Masterplan Danau Rawa Pening. Semarang: BBWS Pemali Juana.
- BBWS Pemali Juana, 2018. Laporan Penetapan Batas Badan dan Sempadan Danau Rawa Pening. Semarang: BBWS Pemali Juana.
- Gerhard, G. and Susilowati, I, 2013. Valuasi Ekonomi Sumberdaya Alam Rawa Pening dan Strategi Pelestariannya di Kabupaten Semarang. *Diponegoro Journal of Economics*, 2(2), pp. 1–9.
- Haryanti, N, 2017. Membangun Kemitraan Pemerintah Dan Masyarakat : Remediasi Danau Rawapening Untuk Menjamin Kelestariannya. in *Prosiding Seminar Nasional Geografi UMS*, pp. 705–715.
- Jain, S. . and Singh, V. P, 2003. *Water Resources Systems Planning and Management*. Elsevier.
- Morris, G. L. and Fan, J, 1997. *Reservoir Sedimentation Handbook: Design and Management of Dams, Reservoirs, and Watersheds for Sustainable Use*. McGraw Hill.

- Muhamad, D. and Aldira, W, 2019. Penetapan Elevasi Muka Air Tertinggi Danau Rawa Pening Terkait Dengan Operasi PLTA Jelok. Universitas Diponegoro.
- Nandalal, K. D. . and Bogardi, J. J, 2007. *Dynamic Programming Based Operation of Reservoirs: Applicability and Limits*. New York, Cambridge University press.
- Nugroho, N. P, 2017. Estimasi Hasil Air Dari Daerah Tangkapan Air Danau Rawa Pening Dengan Menggunakan Model Invest. *Majalah Ilmiah Globe*, 19(2), pp. 157–166. doi: 10.24895/mig.2017.19-2.578.
- Partomo et al, 2011. Pengelolaan Danau Berbasis Co-Management: Kasus Rawa Pening. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, 1(2), pp. 106–113. doi: 10.29244/jpsl.1.2.104.
- Piranti, A. S., Rahayu, D. R. U. S. and Waluyo, G, 2018. Evaluasi Status Mutu Air Danau Rawapening. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 8(2), pp. 151–160. doi: 10.29244/jpsl.8.2.151-160.
- Putra, D. S., Atmojo, P. S. and Wulandari, D. A, 2020. Optimalisasi Kegiatan Pemeliharaan Pada Waduk Gondang, Kabupaten Karanganyar Terhadap Sedimentasi. *Briliant: Jurnal Riset dan Konseptual*, 5(2), pp. 394–409. doi: 10.28926/briliant.v5i2.447.
- Raharjo, S. A. S., Falah, F. and Cahyono, S. A, 2019. Germadan Rawa Pening: Tindakan Bersama Dalam Pengelolaan Common Pool Resources (Germadan Rawa Pening: Collective action in managing common pool resources). *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, 3(1), pp. 1–12. doi: <https://doi.org/10.20886/jppdas.2019.3.1.1-12>.
- Samudra, S. R., Soeprbowati, T. R. and Izzati, M, 2013. Komposisi, Kemelimpahan dan Keanekaragaman Fitoplankton Danau Rawa Pening Kabupaten Semarang. *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*, 15(1), pp. 6–13. doi: 10.14710/bioma.15.1.6-13.
- Sasmita, 2014. Laporan survey lapangan : Perhitungan Efisiensi PLTA Jelok. Semarang.
- Soeprbowati, T. R, 2012. Mitigasi Danau Eutrofik: Studi Kasus Danau Rawa Pening. in *Prosiding Seminar Limnologi VI*, pp. 36–48.
- Soeprbowati, T. R. and Suedy, S. W. A, 2010. Status Trofik Danau Rawapening dan Solusi Pengelolaannya. *Jurnal Sains dan Matematika*, 18(4), pp.158–169.
- Soeprbowati, T. R. and Suedy, S. W. A, 2011. Komunitas Fitoplankton Danau Rawapening. *Jurnal Sains dan Matematika*, 19(1), pp. 19–30.
- Sulastri, S., Henny, C. and Handoko, U, 2016. Environmental Condition and Trophic Status of Lake Rawa Pening in Central Java. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, 1(3), pp. 23–38. doi: 10.14203/oldi.2016.v1i3.20.
- Wulandari, D. A. et al, 2019. The effect of small dams in Rawa Pening catchment area on sedimentation rate of Rawa Pening Lake. *Matec Web of Conferences*, 270, p. 04018. doi: 10.1051/mateconf/201927004018.
- Yuliyanto, E., Astuti, A. P. and Rahmawati, A. A, 2016. Potensi Enceng Gondok (*Eichhornia Crassipes* ) Rawa Pening Untuk Budidaya Jamur Campaignon Perspektif Desa Ekowisata Asinan. in *Rakernas Aipkema 2016*, pp. 81–88.

Copyright (c) Dyah Ari Wulandari, Sriyana, Salamun, Dwi Kurniani, Albert Nico Tristanto, Zelly Rinaldi