

# Simulation of Water Losses Control in Dam From the Evaporation by Aquatic Plants Application (Case Study Wonogiri Dam)

Haryo Istianto

*Engineering Of Irrigation Center , Directorate General Of Water Resources, Ministry Of Public Work And Housing*

\*Corresponding Author: [HaryoIstianto@gmail.com](mailto:HaryoIstianto@gmail.com)

**Abstract:** Indonesia's Economic and population growth increase the demand of the water supply especially for drinking water, industry, irrigation, and energy. The water conflict regard to the supply will affect the dam operation in order to fill the demand. Based on that problem, study about efficiency of the water losses in the dam need consider about evaporation beside the others. This study aim is to evaluate the aquatic plants such as (Hyacinth, torpedo grass, and duckweed) ability to reduce water losses through evaporation. Crop Coefficients ( $K_c$ ) were obtained and water loss from evaporation was calculated by evapotranspiration ( $ET_c$ ). Results presented the aquatic plants able to reduce the water losses from the evaporation in the dam. The duckweed can reduced the water losses by around 40% meanwhile Hyacinth and torpedo grass can reduced the water losses by around 27% and 29% respectively. Total water losses that duckweed can reduced is 1.319.354 m<sup>3</sup>, Hyacinth is 883.388 m<sup>3</sup> and torpedo grass is 938.661 m<sup>3</sup>

**Keywords:** *Efficiency, Evaporation, Crop Coefficients, Water Losses, Aquatic Plants*

## 1. Pendahuluan

Indonesia sebagai negara dengan populasi terbesar ke empat dunia diproyeksikan akan tumbuh sebesar 1% dari total populasi sehingga akan meningkatkan kebutuhan akan pangan. Kondisi ini akan mendorong program pemerintah tentang ketahanan pangan menjadi perhatian yang besar [3]. Selain itu program pemerintah untuk perkembangan ekonomi yang ditargetkan sebesar 7% akan mendorong perkembangan industri semakin pesat. Hal tersebut menjadi pemicu meningkatnya kebutuhan akan air baku seperti untuk air minum, industri, irigasi dan energi untuk mendukung suksesnya program pemerintah tersebut.

Waduk yang memiliki salah satu fungsi sebagai tempat penyimpanan air menjadi sumber utama air baku untuk memenuhi berbagai kebutuhan tersebut. Efisiensi waduk kedepan menjadi hal yang sangat penting untuk memenuhi permintaan air baku. Namun dari sisi teknis kehilangan air pada waduk masih terjadi salah satunya adalah akibat penguapan air. Grandos [2] berpendapat kehilangan air akibat evaporasi pada waduk mengurangi efisiensi pemanfaatan air dan berdampak pada nilai ekonomi. Tanaman air yang sering tumbuh liar di waduk sering dianggap mengganggu aktifitas masyarakat di sekitar waduk. Tanaman yang sering tumbuh adalah Kiambang, Eceng Gondok dan Lampuyangan.

Sebagai contoh gangguan berupa pendangkalan akibat eceng gondok yang mati dan mengendap di dasar badan air, meningkatkan persaingan dengan tumbuhan lain. Selain itu juga mengurangi keindahan [5]. Adapun manfaat yang

didapat dari tumbuhnya tanaman air di waduk adalah mengurangi evaporasi.

Studi ini bertujuan untuk melihat peluang tanaman air digunakan untuk mengurangi kehilangan air akibat penguapan. Pada studi ini, Waduk Wonogiri di Jawa Tengah digunakan sebagai contoh simulasi perhitungan kehilangan air akibat penguapan dan pengaruh tanaman air dalam menguranginya. Waduk Wonogiri mempunyai daerah tangkapan air (DTA) di hulunya dengan luas 1282,86 km<sup>2</sup> yang terdiri dari 10 (sepuluh) Sub DAS yaitu: Alang Ngunggungan, Durensewu, Keduang, Kedungguling, Kepuh, Pondok, Solo Hulu, Temon, Wiroko dan Wuryantoro. Luas waduk itu sendiri adalah 90 km<sup>2</sup> dan kondisi aliran dengan sedimentasi yang cukup tinggi [6]. Pada simulasi perhitungan kehilangan air akibat penguapan ada beberapa skenario yang akan digunakan yaitu kondisi awal penguapan tanpa tanaman, dengan tanaman kiambang, dengan tanaman Kiambang, Eceng Gondok dan Lampuyangan. Solusi yang sesuai untuk mengurangi kehilangan air akan di bahas dalam studi ini. Kondisi eceng gondok dan waduk wonogiri dapat di lihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Eceng Gondok Pada Waduk Dan Waduk Wonogiri

## 2. Bahan dan Metode

Untuk menghitung besarnya air yang hilang akibat evaporasi maka jumlah evaporasi yang terjadi akan dikalikan dengan fluktuasi perubahan luas dari waduk. Data evaporasi di ambil dari stasiun klimatologi terdekat. Sementara evapotranspirasi akan di hitung dengan menggunakan FAO Penman - Monteith dan Crop evapotranspiration. Simulasi kehilangan air di waduk wonogiri akan dianalisa dengan menggunakan empat buah skenario; Skenario 1: kondisi eksisting evaporasi di waduk (tidak ada tanaman air penutup) Skenario 2: aplikasi tanaman air – eceng gondok Skenario 3: aplikasi tanaman air – kiambang Skenario 4: aplikasi tanaman air – lampuyangan

### 2.1. Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah suatu proses perubahan air menjadi uap. Perhitungan nilai evapotranspirasi biasanya dapat menggunakan metode perhitungan khusus sebagai cara pendekatan dengan memperhitungkan data klimatologi seperti radiasi matahari, kelembaban, suhu, kecepatan angin, dan kondisi lingkungan lainnya. Data klimatologi pada stasiun terdekat mulai dari tahun 2011 sampai dengan 2016 digunakan untuk menghitung perkiraan evaporasi (ET<sub>o</sub>) menggunakan program excel dengan rumus dari FAO Penman-Monteith method [1] sebagai berikut :

$$ET_o = \frac{[0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_a - e_d)]}{[\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)]} \quad (1)$$

Dimana :

ET<sub>o</sub> = evapotranspirasi tanaman acuan (mm/hari)  
R<sub>n</sub> = radiasi matahari netto di atas permukaan tanaman (MJ/m<sup>2</sup> /hari)

T = suhu udara rata-rata (oC)  
U<sub>2</sub> = kecepatan angin pada ketinggian 2m di atas permukaan tanah (m/det)  
e<sub>d</sub> = tekanan uap air jenuh (kPa)  
e<sub>a</sub> = tekanan uap air aktual (kPa)  
Δ = kemiringan kurva tekanan uap air terhadap suhu (kPa/oC)  
γ = konstanta psikometrik (kPa/oC)

Hasil perhitungan evapotranspirasi tanaman acuan ini kemudian digunakan sebagai acuan dalam menilai penguapan pada tanaman dengan memperhitungkan koefisien tanaman. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut ;

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (2)$$

Dimana:

ET<sub>c</sub> = evapotranspirasi tanaman (mm/hari)  
K<sub>c</sub> = koefisien tanaman (sesuai Tabel 1)  
ET<sub>o</sub> = evapotranspirasi tanaman acuan (mm/hari)

Data klimatologi yaitu temperature, kelembaban, lama penyinaran dapat di lihat pada tabel 1

**Tabel 1** data klimatologi dari 2001 hingga 2016

Keterangan	Unit	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sept	Oct	Nov	Des
Temperature	°C	26,1 5	26,0 3	26,5 2	27,1 7	27,1 7	27,3 8	26,4 1	26,5 4	27,4 8	27,7 4	27,2 7	26,5 8
Kelembaban relatif	%	82,6 8	84,9 2	83,1 3	80,1 6	77,4 5	75,6 3	71,8 2	69,9 8	67,2 6	72,0 3	77,6 7	80,2 3
Kecepatan angin	km/hour	5,64	5,49	6,27	6,12	6,69	6,18	5,07	4,83	5,10	8,40	7,38	7,59
Radisasi matahari	%	45,0 8	37,8 3	55,5 0	71,8 3	79,9 2	83,5 8	85,5 0	88,1 7	91,0 8	77,8 3	65,8 3	54,6 7
Evaporasi rata rata	mm	3,39	3,54	4,14	3,74	4,19	4,50	4,97	5,97	6,66	6,81	5,07	3,87

Tanaman air yang sering ditemui di sungai atau danau antara lain adalah eceng gondok, kiambang dan lampuyangan (Gambar 2). Tanaman air ini memiliki manfaat untuk mengurangi evaporasi, dengan cara menutup permukaan air. Namun disisi lain tanaman ini juga menyerap air untuk tumbuh dan di indikasikan dengan koefisien tanaman. Setiap tanaman air memiliki koefisien tanaman yang berbeda tergantung dari kondisi lingkungan, suhu dan kehilangan air. Koefisien tanaman berubah ubah seiring dengan kondisi dari lingkungan dan umur pada tanaman itu sendiri. Berdasarkan penelitian dari rashed [7] koefisien tanaman air dapat di lihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Koefisen Tanaman Air (Kc)

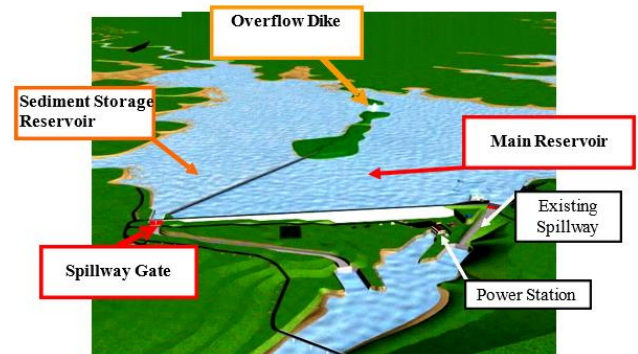
Bulan	Tanaman Air		
	Eceng Gondok	Kiambang	Lampuyangan
0,5	0,87	0,80	1,00
1	0,87	0,80	1,00
2	0,95	0,87	1,06
3	0,75	0,73	0,93
4	0,75	0,65	0,85
5	0,72	0,58	0,59
6	0,86	0,67	0,73
7	0,84	0,71	0,83
8	1,00	0,83	0,98
9	0,79	0,56	0,68
10	0,52	0,38	0,46
11	0,42	0,31	0,37
12	0,34	0,23	0,29

Sumber : Rashed AA, 2014

## 2.2. Estimasi Kehilangan Air

Kehilangan air pada waduk Wonogiri akan di hitung berdasarkan kondisi klimatologi dengan memperhitungkan nilai evaporasi dan evapotranspirasi yang terjadi selama satu tahun. Estimasi nilai Evaporasi dan evapotranspirasi rata-rata bulanan akan di hitung dengan rumus empiris dan data evaporasi yang di dapat dari stasiun klimatologi. Untuk mengetahui kehilangan air pada waduk, nilai evaporasi maupun evapotranspirasi akan dikalikan dengan luas area tampungan waduk berdasarkan fluktuasi ketinggian muka air pada waduk.

Volume air di waduk berfluktuasi selama satu tahun karena operasi waduk dan perubahan musim. Waduk Wonogiri di bangi menjadi dua bagian yaitu bagian Sediment Storage Reservoir (SSR) dan Main Reservoir (MR). Dalam studi ini hanya Main Reservoir (MR) yang digunakan dalam perhitungan kehilangan air. Gambar layout waduk Wonogiri berdasarkan pada laporan JICA [4] dapat di lihat pada gambar 4



Source: JICA (2016)

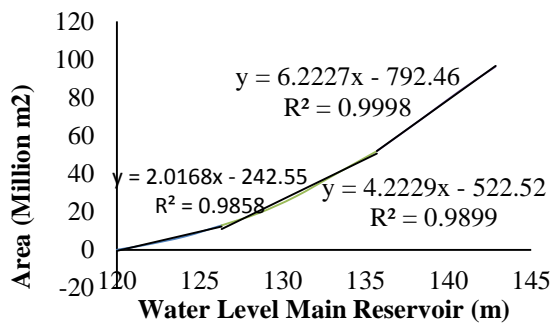
Gambar 4. Layout waduk Wonogiri



Sumber : <https://plants.ifas.ufl.edu>

**Gambar 2. Tanaman air : Eceng Gondok (1), Kiambang (2) dan Lampuyangan (3)**

Luas tampungan waduk di hitung dengan memperhitungkan Grafik hubungan luas waduk dan ketinggian muka air. Semakin tinggi kedalaman air menunjukkan peningkatan pada luas volume air yang di tampung oleh waduk. Grafik hubungan luas waduk dan ketinggian muka air dapat di lihat pada Gambar 5



Source: Putra (2017)

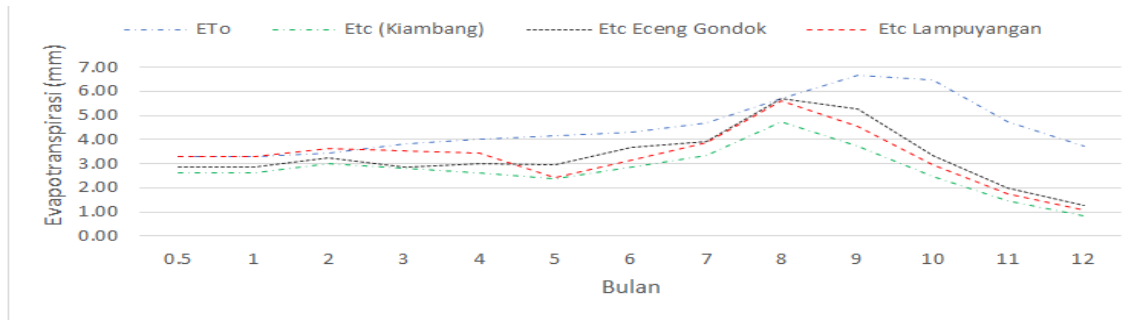
Gambar 5. Grafik hubungan luas waduk dan ketinggian muka air

### 3. Hasil dan Pembahasan

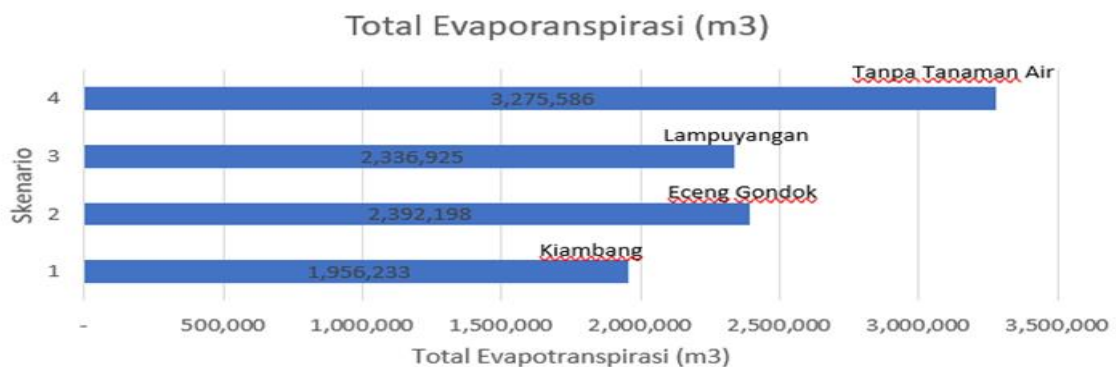
Waduk Wonogiri digunakan untuk berbagai fungsi atau biasa di sebut dengan multipurpose dam karena waduk ini menyediakan kebutuhan air untuk irigasi, air minum dan energi. Volume air yang hilang akibat penguapan dihitung dengan menggunakan nilai besaran evaporasi rata-rata yang terjadi dalam satu bulan kemudian dikalikan dengan luas permukaan tampungan waduk pada Main Reservoir (MR). Perhitungan ini dilakukan selama satu tahun untuk mengetahui evaporasi di musim hujan maupun di musim kemarau. Pada perhitungan evaporasi, evapotranspirasi, dan kehilangan air disimulasikan dengan menggunakan 4 kondisi yaitu kondisi tanpa tanaman air (skenario 1), eceng gondok (skenario 2) tanaman kiambang (skenario 3), dan lampuyangan (skenario 4).

Dari hasil perhitungan didapatkan tanaman kiambang paling baik untuk mengurangi penguapan yaitu sebesar 40% sedangkan untuk tanaman Eceng Gondok (27%) dan Lampuyangan sebesar 29%. Gambar 6 menunjukkan perbandingan penguapan (evapotranspirasi) rata di tiap bulan. Grafik penguapan cenderung meningkat di bulan ke 6 sampai dengan bulan ke 10 yang menandakan kondisi musim kemarau. Penguapan tertinggi adalah di bulan ke 9 yaitu di bulan September. Kebutuhan air tanaman cenderung meningkat seiring dengan umur tanaman hingga berumur 8 bulan sejak awal penanaman, namun setelah itu semakin menurun kebutuhannya. Hal ini menandakan tanaman air yang sudah dewasa tidak terlalu membutuhkan air yang banyak. Dari kondisi tersebut tanaman air terbukti dapat mengurangi penguapan. Tanaman yang berumur diatas 8 bulan adalah tanaman yang paling baik untuk dimanfaatkan sebagai tanaman penutup pada tampungan waduk karena hanya membutuhkan air sedikit.

Gambar 7 menunjukkan perbandingan kehilangan air yang terjadi pada waduk wonogiri akibat penguapan dalam satu tahun pada skenario 1. Kehilangan air pada skenario tanpa tanaman air dalam satu tahun adalah sebesar 3.275.586 m<sup>3</sup> sedangkan pada skenario dengan tanaman air kehilangannya dapat berkurang, yang terkecil kehilangan airnya adalah Skenario 3 (tanaman kiambang) yaitu sebesar 1.956.233 m<sup>3</sup>. Volume kehilangan air yang dapat di hemat dalam satu tahun dari pemanfaatan tanaman Kiambang 1.319.354 m<sup>3</sup>, Eceng Gondok 883.388 m<sup>3</sup>, Lampuyangan 938.661 m<sup>3</sup>.



**Gambar 6.** Perbandingan evapotranspirasi rata rata bulanan untuk 4 skenario



**Gambar 7.** Perbandingan kehilangan air pada 4 skenario

Volume air yang dapat di hemat tidak terlalu signifikan jika di dibandingkan dengan seluruh volume waduk, namun kemanfaatannya tanaman air untuk mengurangi penguapan masih dapat digunakan khususnya untuk waduk di daerah kering yang memiliki tingkat penguapan yang lebih tinggi seperti waduk di Indonesia timur.

Dalam rangka penerapannya dilapangan, efek negatif dari tanaman air untuk mengurangi efek penguapan seperti sedimentasi, dan endapan perlu di perhitungkan. Permasalahan endapan / sedimentasi dapat di kurangi dengan memanfaatkan jaring-jaring atau keramba. Selain itu desain bentuk keramba di lokasi waduk dapat di atur sedemikian hingga dapat meningkatkan fungsi waduk sebagai sarana rekreasi. Ilustrasi pemanfaatan tanaman air dengan menggunakan desain landscape dapat di lihat pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Ilustrasi pemanfaatan tanaman air dengan menggunakan desain landscape.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Tanaman air terbukti dapat pengurangi penguapan yang terjadi di waduk.
2. Tanaman kiambang paling baik untuk mengurangi kehilangan air dari evaporasi yaitu sebesar 40% sedangkan untuk tanaman eceng gondok (27%) dan Lampuyangan sebesar 29%.

3. Jumlah kehilangan air yang dapat di hemat dalam satu tahun dari pemanfaatan tanaman air adalah Kiambang 1.319.354 m<sup>3</sup>, eceng gondok 883.388 m<sup>3</sup>, lampuyangan 938.661 m<sup>3</sup>.

### Daftar Pustaka

- [1] R.G. Allen, L.S. Pereira, D. Raes, M. Smith. "Crop Evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage Paper 56." Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, p. 143. 1998.
- [2] D.M. Granados, et al. "The Economic Impact of Water Evaporation Losses from Water Reservoirs in the Segura Basin, SE Spain," *Water Resources Management Journal*, vol. 25(3), pp 3153-3175, 2011.
- [3] H, Istianto, et al. Improving The Performance Of Tidal Irrigation Through The Water Management, (Study Case Gandus Palembang, South Sumatra). Presented Proceedings of the 21st IAHR-APD Congress 2018, Yogyakarta, Indonesia
- [4] JICA. "Countermeasure for Sediment in Wonogiri Multipurpose Dam Reservoir. Balai Besar Wilayah Sungai Bengwan Solo, Directorate General of Water Resources": Ministry of Public Work and Housing, The Republic of Indonesia. 2016.
- [5] S.Muladi, Kajian Eceng Gondok sebagai Bahan Baku Industri dan Penyelamat Lingkungan Hidup di Perairan. Prosiding Seminar Nasional IV Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia (MAPEKI). Samarinda. Departemen Pekerjaan Umum. June 1982. 2001.
- [6] I.S. Putra. "The Optimasi Pola Operasi Waduk Wonogiri Pasca Pembangunan Closure Dike Untuk Memenuhi Kebutuhan Air Baku Dan Listrik." Thesis: (Program Studi Magister Pengelolaan Sumber Daya Air 2017, Bandung, Indonesia. 2017.
- [7] A.A. Rashed, "Assessment of aquatic plants evapotranspiration for secondary agriculture drains (case study: Edfina drain, Egypt)," *Egyptian Journal of Aquatic Research*, vol. 40, pp. 117–124. 2014.