

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Waduk

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 27/PRT/M/2015 tentang bendungan, waduk adalah wadah buatan yang terbentuk sebagai akibat dibangunnya bendungan. Waduk dapat dimanfaatkan untuk mengairi jaringan irigasi ketika jaringan irigasi mengalami kekurangan air pada musim kemarau.

2.2 Analisis Data Hidrologi

Menurut Marta dan Adidarma (1983), bahwa hidrologi adalah ilmu yang mempelajari tentang terjadinya, pergerakan dan distribusi air di bumi, baik di atas maupun di bawah permukaan bumi, tentang sifat fisik, kimia air serta reaksinya terhadap lingkungan dan hubungannya dengan kehidupan.

2.2.1 Curah Hujan Rerata Daerah

Menurut Suyono Sosrodarsono dan Kensaku Takeda (2003), analisis curah hujan rerata daerah dimaksudkan untuk memperoleh besar curah hujan daerah yang diperlukan untuk perhitungan curah rencana. Beberapa metode yang dapat digunakan dalam perhitungan curah hujan daerah. Metode tersebut diantaranya adalah metode rata-rata aljabar, metode poligon Thiessen, dan metode Isohyet.

1. Metode Rata-Rata Aljabar

Metode perhitungan rata-rata aljabar adalah cara yang paling sederhana. Metode ini biasanya digunakan untuk daerah yang datar, dengan jumlah pos curah hujan yang cukup banyak dan dengan anggapan bahwa curah hujan di daerah tersebut cenderung bersifat seragam. Curah hujan daerah metode rata-rata aljabar dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n}{n} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

\bar{R} : Curah hujan rata-rata DAS (mm)

R_1, R_2, R_3, R_n : Curah hujan pada setiap stasiun hujan (mm)

n : Banyaknya stasiun hujan

(Suyono Sosrodarsono dan Kensaku Takeda, 2003, hal : 27)

2.2.2 Curah Hujan Efektif

Curah hujan efektif merupakan bagian dari curah hujan yang efektif dalam suatu proses hidrologi yang bisa untuk dimanfaatkan misalnya pemakaian oleh tanaman (KP.01-2013). Menurut Departemen PU KP.01–2013, untuk irigasi padi, curah hujan efektif bulanan diambil dari periode ulang 70% dari curah hujan minimum tengah bulanan dengan periode ulang lima tahunan. Untuk menghitung curah hujan efektif dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$Re = 0,7 \times \frac{1}{15} \times R_{80} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

Re = Curah Hujan Efektif (mm/hari)

R (setengah bulan) 5 = Curah hujan minimum tengah bulanan dengan periode ulang 5 tahun/ mm.

2.2.3 Evapotranspirasi

Menurut Suyono Sosrodarsono dan Kensaku Takeda (2003), Evapotranspirasi merupakan faktor yang sangat penting dalam studi pengembangan sumber daya air dan sangat mempengaruhi debit sungai, kapasitas waduk dan penggunaan konsumtif untuk tanaman. Perhitungan evapotranspirasi potensial dihitung berdasarkan Metode Penman modifikasi FAO dengan data klimatologi terdekat sebagai stasiun referensi. Persamaan Penman modifikasi FAO sebagai berikut :

$$E_{to} = c \{ W \cdot R_n + (1 - W) \cdot f(u) \cdot (e_a - e_d) \} \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan :

E_{to} = Evapotranspirasi tanaman acuan (mm/hari)

W = Faktor temperatur dan ketinggian

R_n = Radiasi bersih (mm/hari)

- $f(u)$ = Fungsi kecepatan angin
 ea = Tekanan uap jenuh (mbar)
 ed = Tekanan uap nyata (mbar)
 c = Faktor kompensasi kecepatan angin dan kelembaban
 Rh = Kelembaban udara (%)

Pada gambaran variabel-variabel dan perhitungan evapotranspirasi potensial menurut modifikasi terdapat uraian sebagai berikut:

1. Faktor penyesuaian/pengganti kondisi akibat cuaca siang dan malam (c)
 Karena iklim tidak selalu tetap maka Penman memberikan nilai koreksi (c) nilai faktor pendekatan (c) dapat dilihat dalam **Tabel 2.1** berikut.

Tabel 2.1 Tabel Adjustment faktor (c) bulanan

Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
C	1.1	1.1	1	0.9	0.9	0.9	0.9	1	1.1	1.1	1.1	1.1

Sumber : Suroso, A.(2011) Bahan Ajar Irigasi dan Bangunan, UMB

2. Faktor yang mempengaruhi penyinaran matahari (W)

Faktor berat yang mempengaruhi penyinaran matahari pada evapotranspirasi potensial. Untuk mencari nilai faktor yang mempengaruhi penyinaran matahari (W) adalah hubungan antara temperatur dengan ketinggian, selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 2.2** berikut.

Tabel 2.2 Tabel nilai faktor penimbang (W) untuk efek radiasi

Temperatur (T) °C	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
Ketinggian (z) m										
0	0.71	0.73	0.75	0.77	0.78	0.8	0.82	0.83	0.84	0.85
500	0.72	0.74	0.76	0.78	0.79	0.81	0.82	0.84	0.85	0.86
1000	0.73	0.75	0.77	0.79	0.8	0.82	0.83	0.85	0.86	0.87
2000	0.75	0.77	0.79	0.81	0.82	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88

Sumber : Hadisusanto dalam Oktawirawan (2015)

3. Tekanan uap jenuh (ea)

Nilai tekanan uap jenuh (ea) dipengaruhi oleh temperatur, untuk mencari nilainya menggunakan Tabel tekanan uap jenuh (ea) menurut temperatur udara rata-rata, dapat dilihat pada **Tabel 2.3** berikut.

Tabel 2.3 Tekanan uap jenuh (ea) menurut temperatur udara rata-rata

Temperatur (°C)	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
ea (mbar)	25.4	28.1	29.8	31.7	33.6	35.7	37.8	40.1	42.4	44.9	47.6

Sumber : Kebutuhan Air Tanaman, Departemen Pertanian, 1977

- a. Penyinaran matahari yang diserap oleh bumi (Rns)

Nilai Penyinaran matahari teoritis yang tergantung pada garis lintang (Ra), dapat dilihat pada **Tabel 2.4** berikut.

Tabel 2.4 Tabel Extra Terrestrial Radiation (Ra)

Lat	<i>Southern Hemisphere</i>											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
8	16.1	16.1	15.5	14.4	13.1	12.4	12.7	13.7	14.9	15.8	16	16
6	15.8	16	15.6	14.7	13.4	12.8	13.1	14	15	15.7	15.8	15.7

Sumber : Bahan Ajar Kuliah Hidrologi T.Sipil ITS, 2015

- b. Radiasi yang dipancarkan oleh bumi (Rnl)

Nilai koreksi akibat temperatur f(T), dapat dilihat pada **Tabel 2.5**.

Tabel 2.5 Pengaruh Temperatur Udara f(T) pada radiasi gelombang

Temperatur (T) °C	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
F(T)	13.8	14.2	14.6	15	15.4	15.9	16.3	16.7	17.2	17.7	18.1

Sumber : Hadisusanto dalam Oktawirawan (2015)

2.2.4 Analisis Ketersediaan Air

Dr. F.J. Mock (1973) memperkenalkan model sederhana simulasi keseimbangan air bulanan untuk aliran yang meliputi data hujan, evaporasi dan karakteristik hidrologi daerah pengaliran. Kriteria perhitungan dan asumsi yang digunakan dalam analisa ini adalah sebagai berikut (Mock, 1973; Sri Harto, 1993; dan Montarich, 2010).

2.2.5 Debit Inflow Bangkitan Metode Thomas-Fiering

Thomas-Fiering (1962) mengembangkan persamaan Markov tersebut untuk membuat data sintetik setiap tahap bulanan, khususnya untuk aspek hidrologi, yang dituliskan sebagai berikut (Clarke, 1973):

Persamaan aliran sintesis :

$$Q_{ij} = \bar{q}_j + b_j \cdot (q_{ij-1} - \bar{q}_{ij-1}) + t_i \cdot Sd_j \cdot (1-r_j)^{1/2} \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

Q_{ij} = debit hasil pembangkitan untuk bulan j dan tahun ke i

\bar{q}_j = debit rerata bulan j

q_{ij-1} = debit pada tahun ke i, pada bulan sebelumnya j-1

b_j = koefisien regresi bulan j

t_i = bilangan random normal

Sd_j = standar deviasi bulan j

r_j = koefisien korelasi debit rerata bulan j dengan bulan j-1

2.3 Analisis Kebutuhan Air Irigasi

Menurut Departemen PU KP.01–2013, Kebutuhan air irigasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu kebutuhan untuk penyiapan lahan (IR), kebutuhan air konsumtif untuk tanaman (Etc), perkolasi (P), kebutuhan air untuk penggantian lapisan air (WLR), curah hujan efektif (Re), efisiensi air irigasi (IE), dan luas lahan irigasi (A). Besarnya kebutuhan air irigasi dihitung menggunakan persamaan :

$$DR = \frac{NFR}{IE} A \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

DR = Kebutuhan air irigasi di pintu pengambilan (m^3/dt)

IE = Efisiensi irigasi

A = Luas sawah yang diairi (m^2)

NFR = Kebutuhan air di sawah ($lt/dt/ha$)

Air irigasi adalah sejumlah air yang umumnya diambil dari sungai atau waduk dan dialirkan melalui sistem jaringan irigasi guna menjaga keseimbangan jumlah air di lahan pertanian.

2.3.1 Kebutuhan Air Untuk Penyiapan Lahan (IR)

Untuk perhitungan kebutuhan irigasi selama penyiapan lahan, digunakan metode yang dikembangkan oleh Van de Goor dan Zijlstra (Standard Perencanaan Irigasi KP-01, 2013). Metode tersebut didasarkan pada laju air konstan dalam lt/dt selama periode penyiapan lahan dan menghasilkan rumus sebagai berikut :

$$IR = \left(\frac{e^k}{e^k - 1} \right) \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan :

- IR = Kebutuhan air irigasi untuk penyiapan lahan (mm/hari)
- M = Kebutuhan air untuk mengganti kehilangan air akibat evaporasi dan perkolasi di sawah yang sudah dijenuhkan $M = E_o + P$ (mm/hari)
- E_o = Evaporasi air terbuka selama masa penyiapan lahan (mm/hari), $1,1 \times E_t$
- P = Perkolasi (mm/hari)
- k = $M(T/S)$ (hari)
- T = Jangka waktu penyiapan lahan, digunakan 30 hari
- S = Kebutuhan air untuk penjenuhan di tambah dengan lapisan air 50 mm (250 – 300 mm untuk tanaman padi dan 50 – 100 mm untuk tanaman ladang)
- e = bilangan eksponen : 2,7182

a. Pengolahan lahan untuk tanaman padi

1. Angka penjenuhan tanah digunakan sebesar 200 mm, sedangkan untuk sawah yang sudah mengalami bero lebih dari 2,5 bulan dipakai 250 mm
2. Lama periode pengolahan tanah 30 hari dan angka pengolahan tanah dapat diketahui menggunakan **Tabel 2.6** berikut:

Tabel 2.6 Kebutuhan air irigasi selama pengolahan lahan

Eo + P (mm/hari)	T = 30 hari		T = 45 hari	
	S = 250 mm	S = 300 mm	S = 250 mm	S = 300 mm
5,0	11,1	12,7	8,4	9,5
5,5	11,4	13,0	8,8	9,8
6,0	11,7	13,3	9,1	10,1
6,5	12,0	13,6	9,4	10,4
7,0	12,3	13,9	9,8	10,8
7,5	12,6	14,2	10,1	11,1
8,0	13,0	14,5	10,5	11,4
8,5	13,3	14,8	10,8	11,8
9,0	13,6	15,2	11,2	12,1
9,5	14,0	15,5	11,6	12,5
10,0	14,3	15,8	12,0	12,9
10,5	14,7	16,2	12,4	13,2
11,0	15,0	16,5	12,8	13,6

Sumber : Perencanaan Jaringan Irigasi KP - 0 1, 2013

2.3.2 Kebutuhan Air Konsumtif Tanaman (Etc)

Kebutuhan air konsumtif tanaman didefinisikan sebagai jumlah air yang dibutuhkan oleh tanaman untuk memenuhi kehilangan air melalui evapotranspirasi pada suatu periode untuk dapat tumbuh dan produksi secara normal. Besarnya kebutuhan air tanaman dihitung menggunakan rumus :

$$ET_c = ET_o \times K_c \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan :

ET_c = kebutuhan air konsumtif (mm/hari)

ET_o = evapotranspirasi tanaman (mm/hari)

K_c = koefisien tanaman Nilai koefisien tanaman berbeda-beda tergantung jenis tanaman dan fase pertumbuhan.

Tabel 2.7 Koefisien Tanaman (Kc) Padi Menurut Nedeco/Prosida dan FAO

Bulan	Nedeco/Prosida		FAO	
	Varietas Biasa	Varietas Unggul	Varietas Biasa	Varietas Unggul
0,5	1,20	1,35	1,10	1,10
1,0	1,20	1,30	1,10	1,10
1,5	1,20	1,24	1,10	1,05
2,0	1,27	0	1,10	1,05
2,5	1,32	1,12	1,10	0,95
3,0	1,33	0	1,05	0
3,5	1,40	-	0,95	-
4,0	1,30	-	0	-

Sumber : Perencanaan Jaringan Irigasi KP - 0 1, 2013

Tabel 2.8 Koefisien Tanaman Palawija

Setengah Bulan ke-	Koefisien Tanaman					
	Kedelai	Jagung	Kacang Tanah	Bawang	Buncis	Kapas
1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
2	0.75	0.59	0.51	0.51	0.64	0.5
3	1	0.96	0.66	0.69	0.89	0.58
4	1	1.05	0.85	0.9	0.95	0.75
5	0.82	1.02	0.95	0.95	0.88	0.91
6	0.45	0.95	0.95	-	-	1.04
7	-	-	0.95	-	-	1.05
8	-	-	0.55	-	-	1.05
9	-	-	0.55	-	-	1.05
10	-	-	-	-	-	0.78
11	-	-	-	-	-	0.65
12	-	-	-	-	-	0.65
13	-	-	-	-	-	0.65

Sumber : Perencanaan Jaringan Irigasi KP - 0 1, 2013

2.3.3 Kebutuhan Air di Sawah

Menurut Departemen PU KP.01–2013, besarnya kebutuhan air di air sawah tergantung dari jenis tanaman, diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

- a. Untuk tanaman padi

$$NFR = Etc + WLR + P - RE \text{ padi} \dots\dots\dots(2.8)$$

- b. Untuk tanaman palawija

$$NFR = Etc - RE \text{ palawija} \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan :

NFR = Kebutuhan air di sawah (lt/dt/ha).

Etc = Kebutuhan air tanaman (mm/hari).

WLR = Kebutuhan air untuk pembibitan (mm/hari).

P = Perkolasi (mm/hari).

RE = Curah hujan efektif (mm).

2.4 Analisis Kebutuhan Air Baku

Kebutuhan air baku meliputi kebutuhan air domestik, non domestik dan industri. Kebutuhan air ini sangat dipengaruhi oleh jumlah dan kategori daerah. Penduduk desa kebutuhan air baku akan lebih kecil dibanding dengan kebutuhan

air baku penduduk kota. Kota kecil kebutuhan air baku akan lebih kecil dibanding dengan kebutuhan air baku penduduk kota besar.

2.4.1 Jumlah dan Proyeksi Kebutuhan Air

Faktor-faktor yang mempengaruhi proyeksi kebutuhan air :

1. Jumlah penduduk yang berkembang setiap tahun.
2. Tingkat pelayanan.

2.4.2 Perhitungan Kebutuhan Air

Dalam perhitungan, kebutuhan air didasarkan pada kebutuhan air rata-rata. Kebutuhan air rata-rata dapat dibedakan menjadi 2 (dua), yaitu kebutuhan air rata-rata harian dan kebutuhan harian maksimum. Kebutuhan Air Rata-rata Harian (Q_{rh}) adalah banyaknya air yang dibutuhkan selama satu hari sebagai berikut :

$$Q_{rh} = P * q \dots \dots \dots (2.10)$$

Keterangan :

P = Jumlah penduduk (jiwa)

q = Kebutuhan air penduduk (litr/detik)

2.4.3 Angka Pertumbuhan Penduduk

Angka pertumbuhan penduduk dalam prosen dapat digunakan untuk memproyeksikan jumlah penduduk untuk beberapa tahun mendatang. Pada kenyataannya tidak selalu tetap tetapi perkiraan ini dapat dijadikan sebagai dasar perhitungan volume kebutuhan air di masa yang akan datang. Metode Geometrical Increase yang digunakan untuk memproyeksikan jumlah penduduk.

$$P_n = P_o (1 + r)^n \dots \dots \dots (2.11)$$

Keterangan:

P_n = Jumlah penduduk pada tahun ke-n (jiwa)

P_o = Jumlah penduduk pada awal tahun (jiwa)

r = Prosentase pertumbuhan geometrical penduduk tiap tahun

n = Periode waktu yang ditinjau

2.4.4 Standar Kebutuhan Air

Standar kebutuhan air bersih ada 2 (macam) yaitu :

a. Standar Kebutuhan Air Domestik

Menurut Ditjen Cipta Karya, 2000, Standar kebutuhan air domestik adalah kebutuhan air bersih yang dipergunakan pada tempat-tempat hunian pribadi untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari, seperti : pemakaian air untuk minum, masak, mandi, cuci dan sanitasi. Satuan yang dipakai adalah liter/orang/hari. Kebutuhan air domestik untuk kota dapat dibagi dalam beberapa kategori pada **Tabel 2.9** berikut :

Tabel 2.9 Kategori Kebutuhan Air Domestik

No	Macam Kategori	Daerah Cakupan
1	Kategori I	Kota Metropolitan
2	Kategori II	Kota Besar
3	Kategori III	Kota Sedang
4	Kategori IV	Kota Kecil
5	Kategori V	Desa

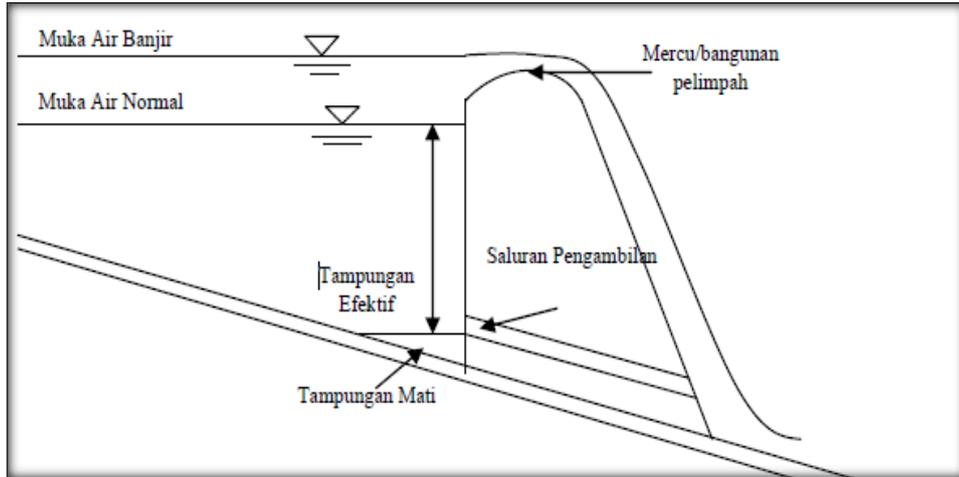
Sumber : Ditjen Cipta Karya, 2000

2.5 Ketersediaan Air Waduk

Ketersediaan air irigasi ditentukan oleh besarnya debit sungai. Hasil pengukuran debit sungai yang dilakukan pada lokasi bendung, merupakan data pengambilan yang aktual di tambah dengan aliran limpasan bendung dengan periode tengah bulanan.

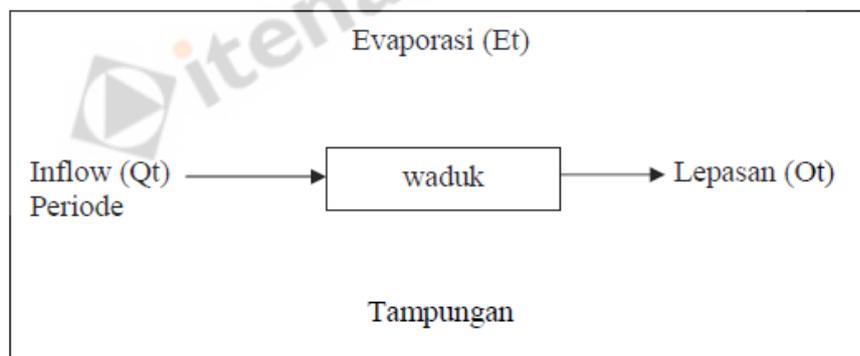
2.6 Keandalan Waduk

Fungsi utama waduk adalah untuk menyediakan tampungan. Karakter yang dipandang sangat penting adalah kapasitas tampungan. Zona tampungan waduk dapat dilihat pada **Gambar 2.1** sebagai berikut:



Gambar 2.1 Zona Tampungan Waduk

Simulasi operasi waduk bertujuan untuk meninjau sejauh mana tingkat keandalan atau kegagalan yang terjadi dari perilaku sistem pengoperasian waduk dalam memenuhi kebutuhan pelayanannya. Salah satu bentuk persamaan tampungan yang sering digunakan untuk operasi waduk adalah persamaan kontinuitas yang memberi hubungan antara masukan, keluaran dan perubahan tampungan yang disebut analitis perilaku (model simulasi). Hal ini dapat dilihat pada **Gambar 2.2** sebagai berikut:



Gambar 2.2 Model Simulasi

Konsep neraca air pada dasarnya menunjukkan keseimbangan antara jumlah air yang masuk ke, yang tersedia di, dan yang keluar dari sistem (sub sistem) tertentu. Secara umum persamaan neraca air dirumuskan dengan :

$$I = O \pm \Delta S \dots\dots\dots(2.34)$$

Keterangan :

- I = masukan (inflow)
- O = keluaran (outflow)

Keandalan kapasitas waduk, dirumuskan pada persamaan sebagai berikut (Seyhan,1979):

$$R = 1 - (P/N) \dots\dots\dots(2.35)$$

Keterangan:

R = Keandalan kapasitas waduk (%)

P = Banyaknya kejadian kegagalan waduk

N = Banyaknya data

2.7 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu ini menjadi salah satu acuan penulis dalam melakukan penelitian sehingga penulis dapat memperkaya teori yang digunakan dalam mengkaji penelitian yang dilakukan. Dari penelitian terdahulu, penulis tidak menemukan penelitian dengan judul yang sama seperti judul penelitian penulis.

1. Penelitian tugas akhir Muhammad Fachrurrozi yang berjudul *studi optimasi pemanfaatan waduk bagong di kabupaten trenggalek untuk jaringan irigasi, kebutuhan air baku, dan potensi plta, 2017*. Penelitian ini membahas Waduk Bagong dirancang sebagai penyedia air untuk irigasi, air baku dan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Dengan keterbatasan volume air yang tersedia di waduk, maka perlu adanya optimasi untuk pengoptimalan kebutuhan air baik untuk irigasi, air baku maupun PLTA.
2. Penelitian tugas akhir Januar Ade Saputra dan Misgiarti yang berjudul *studi keandalan waduk wadaslintang akibat sedimentasi untuk kebutuhan irigasi, 2013*. Penelitian ini membahas tampungan efektif pada Waduk Wadaslintang mengalami penurunan. Pada awal operasinya tahun 1988 Waduk Wadaslintang memiliki tampungan efektif mencapai 408 juta m³. Namun, pada tahun 2008 tampungan efektifnya telah mengalami penurunan menjadi 388 juta m³.