

## Analisis *Return Flow* antar Bendung (Studi Kasus Bendung Klampok-Plakaran dan Bendung Sekarsuli)

**Cut Dwi Refika**

Program Doktor Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta  
E-mail: cut.dwi.refika@gmail.com

**Fatchan Nurrochmad**

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta  
E-mail: fatchan\_nurr@yahoo.com

**Adam Pamudji Rahardjo**

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta  
E-mail: adam.pamudji.r@gmail.com

**Joko Sujono**

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta  
E-mail: jsujono@yahoo.com

### Abstrak

Return flow berasal dari aliran yang disadap untuk keperluan irigasi yang sebagian alirannya tidak dimanfaatkan oleh lahan irigasi kembali ke sungai berupa limpasan dan rembesan. Bendung yang menjadi tinjauan penelitian ini adalah Bendung Klampok-Plakaran dan Bendung Sekarsuli yang berada di Kabupaten Sleman Daerah Istimewa Yogyakarta. Analisis return flow dilakukan dengan Model Tangki. Bentuk Model Tangki disusun berdasarkan kondisi sawah, kebun tebu dan kolam ikan. Parameter Model Tangki yaitu koefisien keluaran dari lubang samping, koefisien keluaran dari lubang bawah dan tinggi tampungan di tangki. Keluaran dari lubang samping tangki berupa limpasan dan rembesan merupakan nilai return flow. Model Tangki dikalibrasi dan diverifikasi untuk mendapatkan Model Tangki yang sesuai dengan kondisi di lapangan. Indikator ketelitian yang digunakan adalah koefisien korelasi ( $R$ ) sebesar 0,97, Volume Error (VE) sebesar 5,00 % dan Root Mean Square Error (RMSE) adalah sebesar 0,03. Nilai return flow pada musim tanam I (Oktober-Januari), musim tanam II (Februari-Mei) dan musim tanam III (Juni-September) berturut-turut sebesar 67,06%; 24,05% dan 21,38%. Verifikasi ketelitian parameter Model Tangki dilakukan pada musim tanam 2009-2010. Nilai ketelitian untuk verifikasi koefisien korelasi ( $R$ ), Volume Error (VE) dan Root Mean Square Error (RMSE) masing-masing adalah 0,81; 5,20 dan 0,14.

**Kata-kata Kunci:** Keseimbangan air, Model tangki.

### Abstract

Return flow occurs when the intake flow for irrigation is not utilized and return back to the river, whether by runoff or seepage. This study focused on Klampok-Plakaran and Sekarsuli weirs in Sleman Regency Special Region of Yogyakarta. The return flow analysis was carried out by using the Tank Model. The model was adjusted to the field condition, such as paddy fields, cane plantation and fish ponds. Parameters in the Tank Model were the output coefficient from the side flow and below, and the height of storage in the tank. Output from the side of the tank consisted of runoffs and seepage, which were the return flow value. The Tank Model was calibrated and verified to obtain the most proper Tank Model suitable to the condition on field. The accuracy indicators consists of correlation coefficient ( $R$ ), Volume Error (VE), and Root Mean Square Error (RMSE) of 0,97; 5,00 % and 0,03, respectively. Values of return flow during the cultivation season I (October - January), cultivation season II (February - Mei) and cultivation season III (June - September) were 67,06%, 24,05% and 21,38%, respectively. Model verification parameters were carried out on cultivation season 2009-2010. Value accuracy for the correlation coefficient ( $R$ ), Volume Error (VE) and root mean square error (RMSE) are 0,81; 5,20 dan 0,14 respectively.

**Keywords:** Water balance, Tank model.

## 1. Pendahuluan

Bendung merupakan salah satu solusi dari masalah kekurangan air pada daerah yang jauh dari sumber air (sungai), namun juga dapat berpotensi menimbulkan masalah. Permasalahan yang timbul pada saat sungai dibendung adalah berkurangnya aliran bahkan menjadi tidak ada aliran sama sekali dibagian hilir bendung. Kondisi ini berbeda dengan kondisi di hilir sungai, dimana pada debit limpasan bendung di bagian hilir lebih besar dibandingkan dengan debit limpasan di bagian hulu. Hal ini mengindikasikan adanya fenomena *return flow*. *Return flow* adalah aliran yang disadap untuk keperluan irigasi, sebagian aliran yang tidak dimanfaatkan oleh lahan irigasi kembali ke sungai berupa limpasan dan rembesan.

Bertambah, berkurang atau tidak adanya aliran akan menimbulkan masalah dalam pengelolaan penyadapan air di bagian hilir. Bertambahnya debit air pada musim hujan dapat menimbulkan bencana banjir, berkurangnya debit air pada musim kemarau dapat menyebabkan kekeringan sehingga dibutuhkan pengaturan yang baik karena kelebihan dan kekurangan aliran. Kondisi berkurangnya atau tidak ada aliran karena pembendungan dapat mempengaruhi jumlah air yang akan disadap oleh bendung di hilir. Untuk mengatasi kondisi tersebut sebaiknya ada pengkajian mengenai *return flow* yang terjadi antar bendung.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui berapa besarnya *return flow* yang terjadi diantara dua bendung yaitu Bendung Klampok-Plakaran dan Bendung Sekarsuli dengan menggunakan Model Tangki.

## 2. Neraca Air

Jackson 1989 (dalam Fatchan Nurrochmad, 1998) mendeskripsikan bahwa keseimbangan air dari suatu daerah irigasi tergantung pada unsur-unsur yang mempengaruhi gerakan air baik di permukaan maupun di bawah permukaan tanah, infiltrasi, perkolasi dan karakteristik tampungan air, jenis tanaman dan pengaruh pelaksanaan di bidang pertanian.

### 2.1 Neraca air sawah

Neraca air pada lahan irigasi dijelaskan dengan **Persamaan (1)**.

$$\Delta S = IR_s + P - ET_c - Q_{out} - Q_s - Q_{dp} \quad (1)$$

Dimana  $\Delta S$  adalah perubahan tinggi genangan di sawah,  $IR_s$  adalah pemberian air irigasi dari saluran induk,  $P$  adalah hujan efektif yang jatuh di lahan,  $ET_c$  adalah kehilangan akibat penguapan dan transpirasi (evapotranspirasi),  $Q_{out}$  adalah aliran permukaan yang berasal dari luapan (limpasan) air yang keluar dari pematang sawah,  $Q_s$  adalah aliran bawah permukaan

berupa rembesan (*seepage*) dari sawah dan  $Q_{dp}$  adalah aliran bawah permukaan berupa perkolasi.

### 2.2 Neraca air kebun tebu

Neraca air di kebun tebu berada pada daerah perakaran yang berfungsi sebagai tampungan. Neraca air di daerah perakaran pada tanaman tebu seperti **Persamaan (2)**.

$$\Delta S = P + IR_t - Q_{out} - E_0 - Q_{dp} \quad (2)$$

Dimana  $\Delta S$  adalah perubahan tinggi tampungan di daerah perakaran,  $IR_t$  adalah pemberian air irigasi dari saluran induk,  $P$  adalah hujan efektif yang jatuh di lahan,  $E_0$  adalah kehilangan akibat penguapan (evaporasi),  $Q_{out}$  adalah aliran permukaan yang berasal dari kebun tebu dan  $Q_{dp}$  adalah perkolasi.

### 2.3 Neraca air kolam ikan

**Persamaan (3)** merupakan neraca air di kolam ikan.

$$\Delta S = IR_k + P - E_0 - Q_{out} - Q_s - Q_{dp} \quad (3)$$

Dimana  $\Delta S$  adalah perubahan tinggi tampungan di kolam ikan,  $IR_k$  adalah pemberian air irigasi dari saluran induk,  $P$  adalah hujan efektif yang jatuh di lahan,  $E_0$  adalah kehilangan akibat penguapan,  $Q_{out}$  adalah aliran permukaan yang berasal dari (limpasan) air yang keluar kolam ikan,  $Q_s$  adalah aliran berupa rembesan (*seepage*) dari kolam ikan dan  $Q_{dp}$  adalah aliran bawah permukaan berupa perkolasi.

## 3. Return Flow

Kim dkk (2009) mengemukakan bahwa penelitian yang dilakukan di DAS Gicheon Republik Korea pada lahan sawah *return flow* yang terjadi sebesar 25,7% dari pemberian air irigasi yang terdiri dari *return flow* cepat sebesar 14% dan *return flow* lambat sebesar 11,6%. Chien dan Fang (2012) menyatakan di Taiwan penggunaan air pertanian lebih dari 78% dari total konsumsi air.

Masashi dkk (2013) melakukan analisis baru mengenai *return flow* yaitu *replacement-in order method*. Metode ini diaplikasikan di daerah irigasi shichika pada musim tanam irigasi dengan nilai *return flow* sebesar 45% dari keseluruhan luasan. Matsuno (2003) menganalisis *return flow* pada tangki *cascade* di Sri Lanka. Keseimbangan air pada tangki *cascade* menggunakan data hidrologi. Pada sistem ini sekitar 46% rembesan dari tangki masuk ke sawah. Kehilangan saat perkolasi kecil sekitar 3,6 mm/hari. Hasil dari rembesan dan perkolasi memperlihatkan nilai *return flow* memberikan kontribusi pada sistem tangki *cascade*.

#### 4. Model Tangki

Model hidrologi yang digunakan mengikuti prinsip Model Tangki (Sugawara dkk, 1984). Azis (2012) mengoptimasi pemanfaatan air waduk di Lombok Timur dengan mempertimbangkan potensi *return flow* dengan menggunakan Model Tangki. Model Tangki dapat dihubungkan dengan mekanisme proses limpasan di dalam daerah pengaliran (Kim, dkk., 2009). Fujihara, dkk (2011) melakukan analisis hidrologi pada sawah tadah hujan dengan model keseimbangan air yang sederhana. Tata guna lahan yang kompleks yaitu dataran tinggi, sawah dan kolam pada lokasi penelitian membuat peneliti menggunakan *bucket model* untuk dataran tinggi dan Model Tangki untuk sawah dan kolam sebagai model hidrologi. Limpasan total yang diperoleh dari jumlah limpasan pada *bucket model* dan Model Tangki.

#### 5. Model Tangki Daerah Studi

Model yang sempurna adalah model yang mampu mengikuti seluruh proses hidrologi dalam mengalihragamkan masukan menjadi keluaran (Sri Harto, 2000). Kondisi lapangan di lokasi penelitian sangat kompleks yang mana penggunaan air irigasi dari bendung dimanfaatkan untuk keperluan sawah, kebun tebu dan kolam ikan. Model Tangki yang digunakan pada penelitian ini disesuaikan dengan kondisi di lapangan seperti susunan tangki, masukan dan keluaran pada tangki. Model Tangki yang digunakan menyesuaikan dengan karakteristik daerah studi dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Parameter model tangki juga disesuaikan dengan kondisi di lapangan seperti tinggi tampungan tangki di sawah, kebun tebu dan kolam ikan. Parameter ketinggian lubang tangki di sawah menyesuaikan dengan ketinggian air genangan rata-rata sawah di daerah studi. Ketinggian lubang tangki di kebun tebu mengikuti ketinggian air rata-rata sesuai dengan kebutuhan air di kebun tebu. Ketinggian lubang tangki kolam ikan juga disesuaikan dengan kondisi di lapangan yaitu ketinggian air di kolam ikan di daerah studi.

**Persamaan 4 s.d. 24** dipakai untuk mencari besaran *return flow*.

Tangki sawah bagian atas

$$\frac{dH_1}{dt} = P + IR_s - ET_c - Y_o - Y_a - Y_i \quad (4)$$

$$Y_0 = a_0 \cdot (H_1 - h_0) \quad \text{jika} \quad H_1 \geq h_0 \quad (5)$$

$$Y_0 = 0 \quad \text{jika} \quad H_1 \leq h_0 \quad (6)$$

$$Y_a = a_a \cdot (H_1 - h_a) \quad \text{jika} \quad H_1 \geq h_a \quad (7)$$

$$Y_a = 0 \quad \text{jika} \quad H_1 \leq h_a \quad (8)$$

$$Y_i = a_i \cdot H_1 \quad (9)$$

$$a_0 + a_a + a_i \leq 1$$

$$a_0 \geq a_a$$

$$a_a \geq a_i$$

Tangki sawah bagian bawah

$$\frac{dH_2}{dt} = Y_i - Y_s - Y_{ds} \quad (10)$$

$$Y_s = a_s \cdot (H_2 - h_s) \quad \text{jika} \quad H_2 \geq h_s \quad (11)$$

$$Y_s = 0 \quad \text{jika} \quad H_2 \leq h_s \quad (12)$$

$$Y_{ds} = a_{ds} \cdot H_2 \quad (13)$$

$$a_s + a_{ds} \leq 1$$

$$a_s \leq 1$$

Tangki kebun tebu bagian atas

$$\frac{dH_3}{dt} = P - ET_c - Y_{it} \quad (14)$$

$$Y_{it} = a_{it} \cdot H_3 \quad (15)$$

Tangki kebun tebu bagian bawah

$$\frac{dH_4}{dt} = P + IR_t - E_0 + Y_{it} - Y_t - Y_{dt} \quad (16)$$

$$Y_t = a_t \cdot (H_4 - h_t) \quad \text{jika} \quad H_4 \geq h_t \quad (17)$$

$$Y_t = 0 \quad \text{jika} \quad H_4 \leq h_t \quad (18)$$

$$Y_{dt} = a_{dt} \cdot H_4 \quad (19)$$

$$a_t + a_{dt} \leq 1$$

$$a_t \geq a_{dt}$$

Tangki kolam ikan

$$\frac{dH_5}{dt} = P - E_0 + IR_k - Y_k - Y_{dk} \quad (20)$$

$$Y_k = a_k \cdot (H_5 - h_k) \quad \text{jika} \quad H_5 \geq h_k \quad (21)$$

$$Y_k = 0 \quad \text{jika} \quad H_5 \leq h_k \quad (22)$$

$$Y_{dk} = a_{dk} \cdot H_5 \quad (23)$$

$$a_k + a_{dk} \leq 1$$

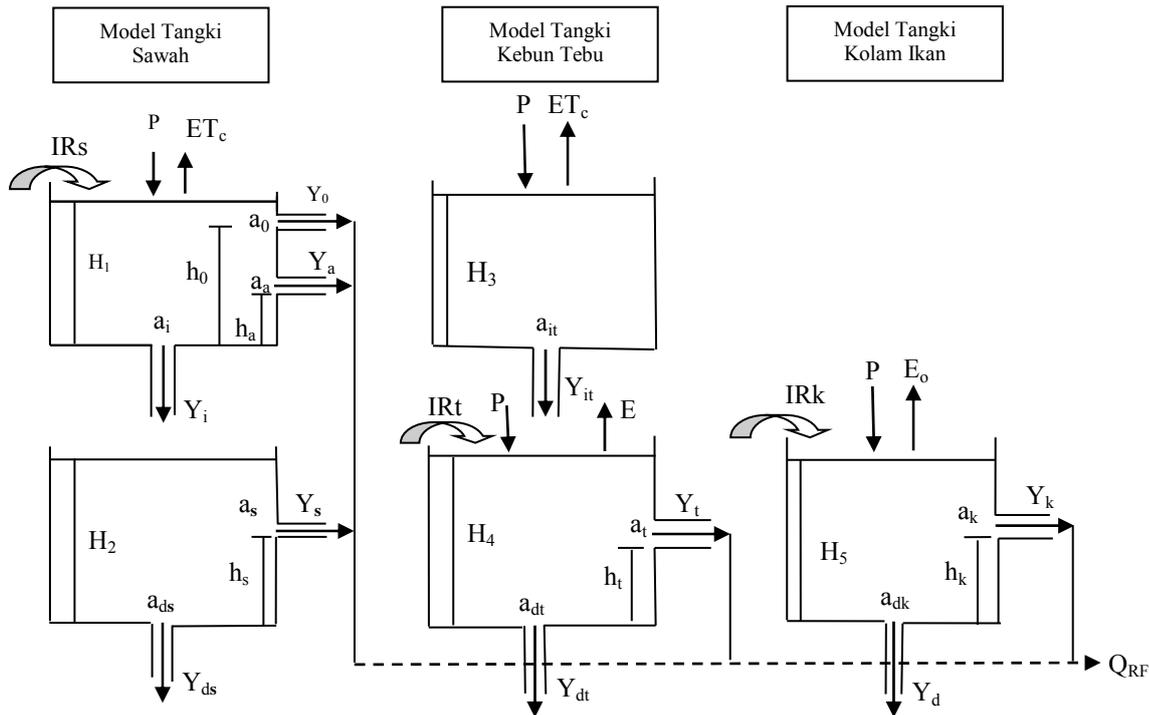
$$a_k \geq a_{dk}$$

$$Q_{RF} = Y_0 + Y_a + Y_s + Y_t + Y_k \quad (24)$$

#### 6. Kalibrasi dan Verifikasi Model Tangki

Semua parameter yang digunakan dalam model, dikalibrasi untuk memperoleh nilai *return flow* simulasi yang mirip dengan nilai *return flow* terukur. Model diharapkan memiliki karakteristik yang sama dengan sifat fisik lahan yang sebenarnya (Sri Harto, 2000).

Verifikasi adalah tahapan selanjutnya setelah kalibrasi, dimana verifikasi membandingkan karakteristik model dengan karakteristik lahan menggunakan data yang belum digunakan dalam kalibrasi (Sri Harto, 2000).



Gambar 1. Model tangki yang dikembangkan sesuai dengan karakteristik daerah studi

## 7. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini terletak di Kabupaten Sleman Daerah Istimewa Yogyakarta. Bendung yang menjadi tinjauan penelitian ini adalah Bendung Klampok-Plakaran dan Bendung Sekarsuli. Bendung Klampok-Plakaran berada pada hulu sungai sedangkan pada hilir sungai adalah Bendung Sekarsuli. Kedua bendung tersebut terletak di Sungai Mruwe.

Bendung Klampok-Plakaran memiliki dua buah bangunan pengambilan di kanan dan kiri mercu bendung, sedangkan Bendung Sekarsuli hanya memiliki satu bangunan pengambilan yaitu disebelah kiri mercu bendung. Daerah Irigasi (DI) kedua bendung ini meliputi dua kabupaten yaitu Kabupaten Sleman dan Kabupaten Bantul, sehingga kedua bendung ini merupakan bendung lintas kabupaten. Luas DI Klampok dan DI Sekarsuli adalah 294 ha dan 145,27 ha masing-masingnya. Peta lokasi Bendung Klampok-Plakaran dan Bendung Sekarsuli, lokasi stasiun hujan dan stasiun klimatologi dapat dilihat seperti Gambar 2.

Data yang digunakan pada penelitian ini berupa data sekunder seperti peta rupa bumi (*Google Earth*), data curah hujan, data debit, dan data klimatologi (temperatur, kecepatan angin, radiasi matahari dan kelembaban).

Peta yang digunakan merupakan peta udara dari *Google Earth* untuk mendapatkan luas daerah tangkapan *return flow* antar Bendung Klampok-Plakaran dan

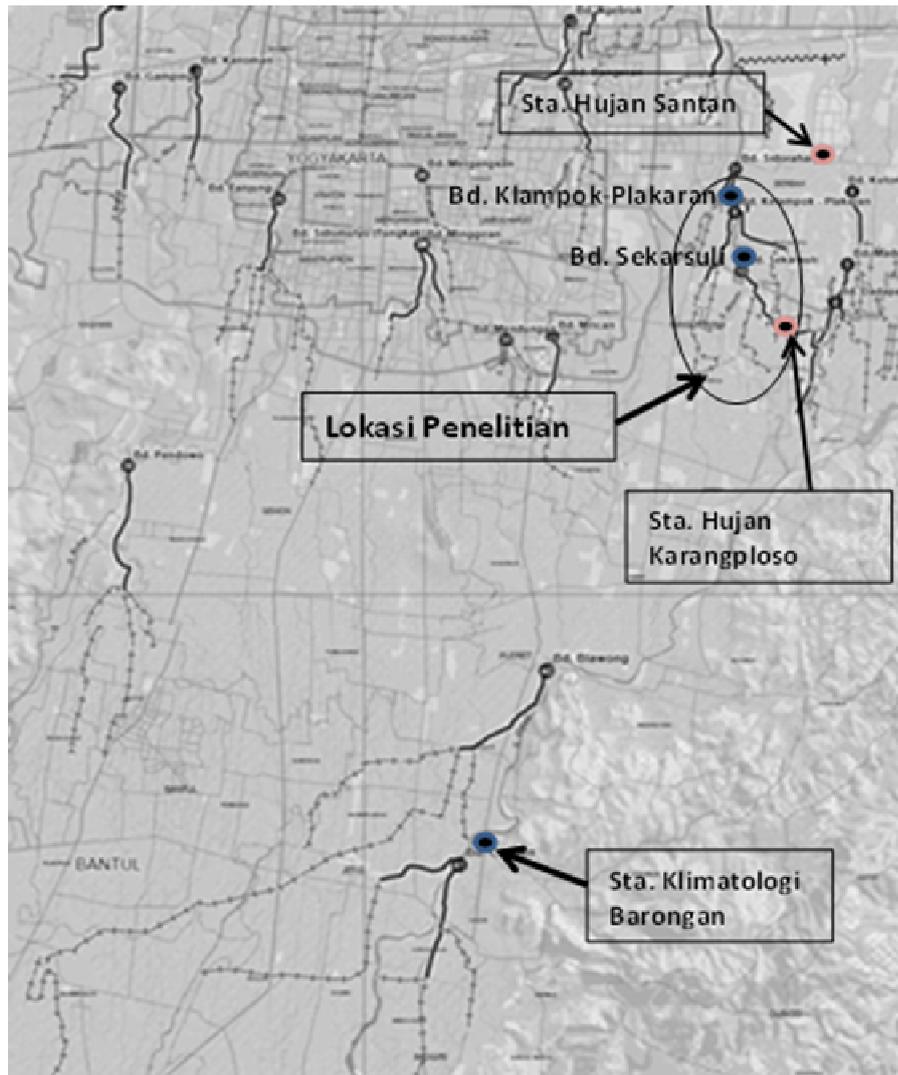
Bendung Sekarsuli. Data hujan yang digunakan pada penelitian ini adalah data hujan dari Stasiun hujan Santan dan Stasiun hujan Karangploso. Data yang digunakan selama 10 tahun dari tahun 2002 sampai dengan 2011 dari setiap stasiun.

Data klimatologi berupa kelembaban, temperatur rata-rata, sinar matahari dan kecepatan angin. Data berasal dari Stasiun Klimatologi Barongan selama 5 tahun (2007-2011). Stasiun Klimatologi Barongan berada di Kecamatan Jetis Kabupaten Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta. Data debit yang digunakan adalah data debit pada Bendung Klampok-Plakaran dan Bendung Sekarsuli dan data debit di pintu pengambilan. Data debit di bendung yang digunakan adalah data selama 7 tahun (2005-2012). Data debit pada bendung digunakan untuk melakukan kalibrasi dan verifikasi pada Model Tangki. Data debit di pintu pengambilan digunakan sebagai masukan tangki yang berasal dari jaringan irigasi.

## 8. Metode Analisis

Analisis data dilakukan untuk mendapatkan nilai simulasi yang mendekati nilai terukur. Analisis data meliputi hujan rerata, evaporasi, evapotranspirasi, pemberian air irigasi, luasan daerah *return flow*, *return flow* terukur, parameter awal dan kalibrasi Model Tangki.

Data hujan yang tersedia berasal dari beberapa stasiun hujan yang terdekat dengan lokasi penelitian. Stasiun hujan yang terdekat dengan lokasi penelitian adalah



Gambar 2. Lokasi Penelitian

Tabel 1. Luas daerah tangkapan air

No	Daerah tangkapan air	Luas (ha)
1.	Bd. Klampok-Plakaran pengambilan kanan (sawah)	30,9
2.	Bd. Klampok-Plakaran pengambilan kiri (sawah, kolam ikan dan kebun tebu)	31,3
3.	Bd. Sidoraharjo (sawah)	13,45

Sumber : Hasil pengukuran di lapangan

Stasiun Santan dan Stasiun Karangploso. Perhitungan hujan rerata pada penelitian ini menggunakan metode Poligon Thiessen.

Data klimatologi diolah dengan menggunakan *software Cropwat 8* sehingga diperoleh nilai Evapotranspirasi Tetapan ( $ET_0$ ). Evaporasi sebagai keluaran dari Model Tangki di kolam ikan diperoleh dari perkalian Evapotranspirasi Tetapan ( $ET_0$ ) dengan tetapan 1,1. Evapotranspirasi juga merupakan keluaran pada Model Tangki di sawah dan kebun tebu. Evapotranspirasi

diperoleh dari hasil perkalian nilai koefisien tanaman dengan nilai evapotranspirasi tetapan ( $ET_0$ ). Pemberian air irigasi menjadi masukan pada Model Tangki.

Debit pengambilan pada bendung dikalikan dengan proporsi luas daerah *return flow* terhadap total luas daerah layanan irigasi sehingga didapatkan nilai pemberian air irigasi. Debit sungai di bendung bagian hulu adalah jumlah debit pengambilan dan debit limpasan. *Return flow* terukur diperoleh dari selisih nilai debit sungai di bagian hilir dengan debit limpasan sungai di hulu. Nilai ini menjadi nilai acuan *return flow* yang diperoleh dari kalibrasi pada Model Tangki. Penentuan parameter sangat dibutuhkan untuk proses kalibrasi. Terutama penentuan parameter awal yang juga merupakan masukan pada Model Tangki pada awal perhitungan. Menentukan nilai parameter awal berdasarkan data di lapangan ataupun literatur yang ada. Parameter awal kemudian dioptimasi untuk mendapatkan nilai *return flow* simulasi yang mendekati nilai *return flow* terukur.

Kalibrasi dijalankan dengan menggunakan *solver* yang terdapat pada *Microsoft Excel* sebagai alat untuk melakukan simulasi. Kalibrasi dilakukan untuk memperoleh nilai *return flow* pada Model Tangki yang mendekati kondisi di lapangan dengan membandingkan nilai *return flow* simulasi dengan nilai *return flow* terukur. Verifikasi dilakukan menggunakan Model Tangki yang telah dikalibrasi dengan masukan dan keluaran menggunakan data tahun sebelum dan sesudah kalibrasi. Verifikasi dilakukan untuk mengetahui kinerja Model Tangki. sehingga verifikasi dapat digunakan secara universal.

**9. Hasil**

Simulasi perhitungan dimulai berdasarkan musim tanam pada daerah studi Tahun 2007/2008. Musim tanam I awal bulan Oktober sampai dengan bulan Januari, Musim tanam II dimulai awal bulan Februari sampai dengan bulan Mei dan musim tanam III di mulai pada awal bulan Juni sampai dengan bulan September. Pola tanam di daerah studi adalah padi-padi-palawija. Selain bercocok tanam penduduk sekitar juga bermata pencaharian dengan menambak ikan. Kolam ikan para petani sumber airnya berasal dari

debit *intake* pengambilan yang sama untuk bercocok tanam. Kebun tebu yang juga berada pada DI Klampok juga memanfaatkan air dari sumber yang sama. Model Tangki yang dikembangkan pada penelitian ini mengikuti Model Tangki Sugawara yang telah dimodifikasi sesuai dengan kondisi di lapangan, meliputi sawah, kebun tebu dan kolam ikan.

Model Tangki yang digunakan untuk mencari besaran *return flow* antar Bendung Klampok-Plakaran dan Bendung Sekarsuli mendapat *return flow* tambahan dari Bendung Sidoraharjo. Bendung Sidoraharjo yang berada pada hulu Bendung Klampok-Plakaran memiliki luas daerah tangkapan *return flow* sebesar 13,5 ha dari luas total sebesar 97,5 ha. Air yang disadap oleh bendung untuk lahan pertanian dan sebagian air yang tidak dimanfaatkan oleh lahan pertanian akan melimpas dan masuk ke drainase. Sebagian drainase alirannya kembali ke sungai utama dan sebagian drainase lainnya alirannya akan mengalir ke sungai lain atau ke drainase jalan. Drainase-drainase yang alirannya kembali ke sungai utama menjadi batasan luas daerah tangkapan *return flow* daerah studi. Luas daerah tangkapan air daerah studi dapat dilihat pada **Gambar 3** dan **Tabel 1**.



**Gambar 3.** Peta luas daerah tangkapan *return flow*

**Tabel 2. Parameter model tangki musim tanam 2007/2008**

Parameter Tangki	Simbol	Satuan	Nilai Parameter Awal	Nilai Optimasi	Min	Maks
Tinggi outlet limpasan sawah	$h_o$	mm	200	200	50	200
Tinggi outlet rembesan sawah	$h_a$	mm	100	150	10	150
Tinggi outlet rembesan bawah permukaan sawah	$h_s$	mm	50	1010	10	2000
Tinggi outlet aliran kebun tebu	$h_t$	mm	200	350	10	350
Koefisien outlet rembesan sawah	$a_a$		0.35	0.3	0.3	0.45
Koefisien outlet limpasan sawah	$a_o$		0.45	0.5	0.5	0.8
Koefisien outlet infiltrasi sawah	$a_i$		0.2	0.2	0.01	0.2
koefisien outlet rembesan bawah permukaan bawah sawah	$a_s$		0.35	0.4	0.3	0.4
Koefisien outlet perkolasi sawah	$a_{ds}$		0.1	0.2	0.01	0.2
Koefisien outlet infiltrasi kebun tebu	$a_{it}$		0.4	0.4	0.3	0.5
Koefisien outlet aliran kebun tebu	$a_t$		0.55	0.5	0.5	0.7
Koefisien outlet perkolasi kebun tebu	$a_{dt}$		0.3	0.45	0.1	0.45
Koefisien outlet limpasan kolam ikan	$a_k$		0.5	0.56	0.5	0.8
Koefisien outlet perkolasi kolam ikan	$a_{dk}$		0.4	0.43	0.1	0.45

Model tangki kemudian dilakukan proses kalibrasi dengan bantuan aplikasi *Solver* yang tersedia pada program *Microsoft Excel*. Dalam proses kalibrasi diperlukan beberapa masukan sebagai nilai parameter awal. Parameter awal yang digunakan sebanyak 14 parameter yaitu  $h_o$ ,  $h_a$ ,  $h_s$ ,  $h_t$ ,  $a_a$ ,  $a_o$ ,  $a_i$ ,  $a_s$ ,  $a_{ds}$ ,  $a_{it}$ ,  $a_t$ ,  $a_{dt}$ ,  $a_k$  dan  $a_{dk}$ . Ada beberapa batasan yang digunakan dalam proses kalibrasi. Nilai parameter yaitu tinggi tangki dan koefisien lubang tidak boleh kurang dan melebihi nilai maksimum dan minimum yang telah ditentukan. Nilai total koefisien lubang pada satu tangki kurang dari satu atau sama dengan 1. Hasil kalibrasi (nilai optimasi) dan parameter awal yang digunakan dalam kalibrasi dapat dilihat pada **Tabel 2**.

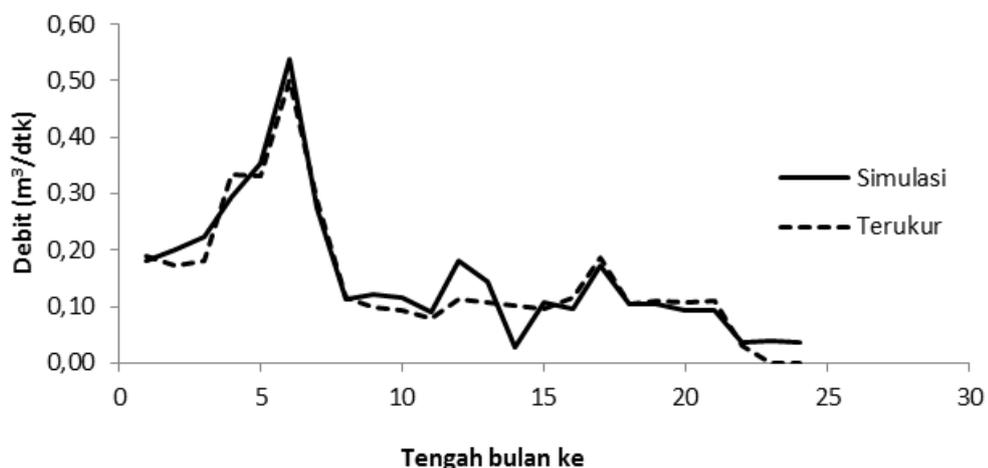
Kemiripan Model Tangki dan model fisik dapat diketahui berdasarkan dari tingkat ketelitiannya. Tingkat ketelitian Model Tangki disyaratkan antara lain berdasarkan nilai koefisien korelasi (R) yang mendekati angka 1, *Volume Error* (VE) sebesar 5% dan *Root*

*Mean Square Error* (RMSE) yang mendekati nol. Keseluruhan hasil perhitungan parameter ketelitian dari Model Tangki yang dikembangkan dapat dilihat pada **Tabel 3**.

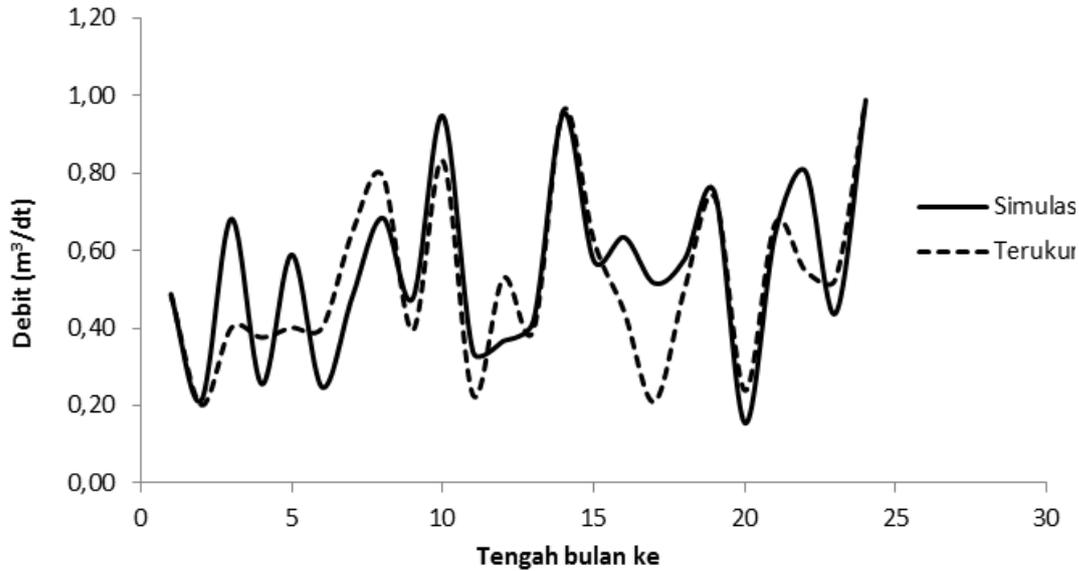
Berdasarkan hasil kalibrasi perhitungan *return flow* simulasi dengan *return flow* terukur, mengindikasikan bahwa Model Tangki yang digunakan sudah mendekati kondisi fisik di lapangan. Kalibrasi yang dilakukan untuk mendapatkan hasil yang mendekati kondisi fisik di lapangan di lakukan pada Bulan Oktober 2007 sampai dengan Bulan September 2008 (musim tanam 2007/2008). Hasil kalibrasi Model Tangki pada musim tanam 2007/2008 dapat dilihat pada **Gambar 4**.

**Tabel 3. Nilai ketelitian model tangki**

No	Indikator	Nilai
1	Koefisien korelasi ( R )	0,97
2	<i>Volume Error</i> (VE)	5,00 %
3	RMSE	0,03



**Gambar 4. Hasil kalibrasi musim tanam 2007/2008**



Gambar 5. Verifikasi musim tanam 2009/2010

Model Tangki yang dikembangkan selain diuji kalibrasi juga perlu dilakukan verifikasi menggunakan data tahun sebelum dan sesudah kalibrasi. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kinerja model tangki secara universal. Model tangki verifikasi dilakukan pada musim tanam 2009/2010 dan hasil verifikasi dapat dilihat pada **Gambar 5**.

## 10. Pembahasan

Hasil kalibrasi musim tanam 2007/2008 pada **Gambar 4** menjelaskan bahwa *return flow* simulasi dengan *return flow* terukur memiliki kemiripan. Kemiripan nilai *return flow* tersebut dapat dilihat dari indikator ketelitian. Indikator ketelitian Model Tangki musim tanam 2007/2008 ditunjukkan seperti pada **Tabel 3** menjelaskan bahwa nilai koefisien korelasi (R), *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Volume Error* (VE) adalah 0,97; 0,03 dan 5,00 % masing-masingnya. Nilai-nilai tersebut hampir mendekati nilai ketelitian yang ditetapkan, yaitu (R) yang mendekati angka 1, (VE) sebesar 5% dan (RMSE) yang mendekati nol.

Debit puncak *return flow* terjadi pada tengah bulan ke 6 yaitu bulan Desember periode minggu kedua yaitu sebesar 0,538 m<sup>3</sup>/dtk. Debit puncak ini terjadi pada musim hujan basah yang memiliki hujan rerata tertinggi dalam setahun yaitu 397,35 mm/15 hari. Hujan memberikan kontribusi yang besar terhadap besaran *return flow* pada bulan Desember. Debit *return flow* terendah sebesar 0,029 m<sup>3</sup>/dtk pada bulan April periode minggu kedua.

Debit di intake terendah berada bulan November periode minggu kedua sebesar 0,34 m<sup>3</sup>/dtk. Nilai debit di intake tertinggi pada bulan Maret periode minggu ke dua dan bulan April periode minggu kedua sebesar 0,48 m<sup>3</sup>/dtk. Nilai *return flow* terendah pada bulan

April periode kedua sebesar 0,029 m<sup>3</sup>/dtk. Nilai *return flow* tertinggi pada bulan Desember periode minggu kedua sebesar 0,538 m<sup>3</sup>/dtk. Berdasarkan hubungan nilai debit di *Intake* dan *return flow* dapat disimpulkan bahwa besaran *return flow* pada musim hujan tidak dipengaruhi oleh nilai debit di intake bendung. Hujan memberi masukan yang besar pada lahan dan limpasan yang berasal dari lahan memberikan pengaruh terhadap b-ertambahnya nilai *return flow*. Selain itu pada musim hujan kebutuhan air di lahan tanam juga tercukupi oleh hujan sehingga pemberian air dari intake dapat dikurangi.

DI Klampok-Plakaran melakukan tiga kali musim tanam dalam setahun. Musim tanam I yaitu awal bulan Oktober sampai dengan bulan Januari, Musim tanam II dimulai awal bulan Februari sampai dengan bulan Mei dan musim tanam III di mulai pada awal bulan Juni sampai dengan bulan September. Pola tanam DI Klampok-Plakaran adalah padi-padi-palawija. Awal tanam pada kebun tebu juga dilakukan pada awal bulan Oktober.

Nilai *return flow* pada Musim tanam 2007/2008 adalah sebesar 37,02% dari total pengambilan air di Bendung Klampok-Plakaran. Nilai *return flow* pada musim tanam I (Oktober-Januari) adalah 67,06%, musim tanam II (Februari-Mei) *return flow* sebesar 24,05% dan musim tanam III (Juni-September) *return flow* sebesar 21,38%. Nilai *return flow* terbesar berdasarkan pembagian musim tanam terjadi pada musim tanam I (Oktober – Januari) dan yang terkecil pada musim tanam III (Juni – September). Nilai *return flow* terbesar terjadi pada musim tanam I, dilanjutkan dengan musim tanam II dan musim tanam III. Kondisi ini dikarenakan pada saat musim tanam I awal musim penghujan dan sebahagian hujan yang jatuh di lahan menjadi limpasan dan rembesan yang kembali ke sungai sebagai *return flow*.

Sedang pada musim tanam II pada awal musim tanam masih musim hujan dan dua bulan sebelum selesai musim tanam sudah mengalami musim kemarau. Musim tanam III merupakan musim kemarau dimana kebutuhan air untuk tanaman berasal dari intake.

Luasan DI Klampok lebih besar dibandingkan dengan DI Sekarsuli, sehingga nilai *return flow* dari intake pengambilan di Bendung Klampok-Plakaran memberikan kontribusi yang besar terhadap Bendung Sekarsuli. Debit Bendung Sekarsuli 75,03% berasal dari nilai *return flow* DI Klampok.

Verifikasi dilakukan pada musim tanam 2009-2010. Nilai *return flow* verifikasi simulasi dengan nilai *return flow* verifikasi terukur hampir memiliki kemiripan seperti yang digambarkan oleh **Gambar 5**. Ada perbedaan nilai yang besar antara *return flow* terukur dan *return flow* simulasi pada bulan ke 16 dan 17. Hal ini dikarenakan pada saat bulan tersebut terjadi hujan yang besar dan pencatatan debit dilakukan pada saat sebelum hujan, sehingga kenaikan debit tidak terbaca. Selain itu Daerah Aliran Sungai (DAS) pada daerah studi kecil sehingga hujan yang besar akan memberikan respon yang cepat terhadap DAS yang kecil. Kemiripan nilai simulasi dan terukur dilihat dari indikator ketelitian. Nilai indikator yang diperoleh pada musim tanam 2009-2010 adalah koefisien korelasi ( $R$ ) = 0,81; *Volume Error* (VE) = 5,20% dan *Root Mean Square Error* (RMSE) = 0,14. Nilai-nilai di atas memberikan gambaran indikator ketelitian mendekati nilai indikator ketelitian yang telah ditentukan.

## 10. Kesimpulan

1. Nilai *return flow* pada hulu Bendung Sekarsuli musim tanam 2007/2008 adalah sebesar 37,02% dari total pengambilan air di Bendung Klampok-Plakaran.
2. Nilai *return flow* pada butir 1 tersebut setara dengan 75,03% kebutuhan air irigasi di DI Sekarsuli.
3. Nilai *return flow* pada musim tanam I (Oktober-Januari), musim tanam II (Februari-Mei) dan musim tanam III (Juni-September) berturut-turut sebesar 67,06%, 24,05% dan 21,38% dari pengambilan air di Bendung Klampok-Plakaran.
4. Hasil verifikasi menunjukkan bahwa model yang digunakan mempunyai kinerja yang baik.

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan yang telah memberi Beasiswa BPPS selama masa studi di Program Pascasarjana Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknik

Universitas Gadjah Mada. Terima kasih juga disampaikan kepada Dr. Ir. Rachmad Jayadi, M.Eng yang telah memberi saran dan masukan pada naskah ini.

## Daftar Pustaka

- Azis, A., 2012, *Optimasi Pemanfaatan Sumberdaya Air Waduk Pandan Duri di Lombok Timur Nusa Tenggara Barat*, Yogyakarta: Tesis Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada,
- Chien, C.P. dan Fang, W.T., 2012, *Modelling Irrigation Return flow for Return Flow Reuse System in Paddy Field*, *Paddy Water Environ*, 10, pp. 187-196.
- Fujihara, Y., Oda, M. dan Horikawa, N., 2011, *Hydrologic Analysis of Rainfed Areas Using a Simple Semi-Distributed Water Balance Model*, *Water Resource Manage*, 25, pp. 2061-2080.
- Kim, H.K., Jang, T.I., Im, S.J. dan Park S.W., 2009, *Estimation of Irrigation Return Flow From Paddy Field Considering The Soil Moisture*, *Agr. Water. Manag*, 96, pp. 875-882.
- Masashi, Y., Toshisuke, M., Keiji, T., Fumikazu, N. dan Hiroshi, T., 2013, *Proposal of Return Flow Analysis by Replacement-in-Order Method for Paddy Irrigation Water*, *Paddy Water Environ*.
- Matsuno, Y., Tasumi, M., Hock, W.V., Sakthivadivel, R. dan Otsuki, K., 2003, *Analysis of Return Flow in a Tank Cascade System in Sri Langka*, *Paddy Water Environ*, 1, pp. 173-181.
- Nurrochmad, F., 1998, *Manajemen Irigasi*, Yogyakarta: Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- Sri Harto B.R., 2000, *Hidrologi, Teori, Masalah, Penyelesaian*, Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Sugawara, M., Watabane, I., Ozaki, E. dan Katsuyama, Y., 1984, *Tank Model with Snow Component*, Japan.

