

**ANALISIS NERACA AIR PERTANIAN DI SUB DAS RAWATAMTU**  
(*Analysis of agricultural water balance in Rawatamtu sub-watershed*)

Erwan Bagus Setiawan<sup>1</sup>, Indarto<sup>1</sup> dan Sri Wahyuningsih<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Air Pertanian,  
Fakultas Pascasarjana Universitas Jember,  
Jl. Kalimantan No. 37 Kampus Tegal Boto Jember 68121  
Email: [indarto.ftp@unej.ac.id](mailto:indarto.ftp@unej.ac.id)

Diterima: 2 Oktober 2019; Direvisi: 06 Januari 2020; Disetujui: 09 Januari 2020

**ABSTRACT**

*Population growth, urbanization, industrial development, and agricultural activities increase water demand on the watershed. An increase in water demand will propagate the excessive exploitation of surface water and groundwater resources. This will probably influence the water balance of the watershed. Therefore, understanding the water balance is a necessity. Continuous imbalance between water supply and demand will generate many serious environmental problems. A study of agricultural water balance is needed to answer the question whether the available water resources can meet the needs of sufficient water for irrigation. The study was conducted in Rawatamtu sub-watershed which was part of Bedadung Watershed. The Water Evaluation and Planning (WEAP) model was used to analyze agricultural water balance. The procedure included inventory data, installing WEAP on the system, running the WEAP, and using WEAP for simulating future water balance conditions. The simulation results showed that agricultural water balance for the next 10 years will be more frequently in surplus condition rather than in deficit condition. The water surplus was estimated to occur in the year of 2020, 2021, 2023, 2025, 2027 and 2028. The highest surplus occurred in the year of 2028 which reached 56.59 million m<sup>3</sup>. Furthermore, the potential water balance deficit was projected to occur in 2019, 2022, 2024, and 2026.*

**Keywords:** *agricultural water balance; WEAP; agricultural water needs; Rawatamtu*

**ABSTRAK**

Peningkatan kebutuhan air dipicu oleh peningkatan pertumbuhan penduduk, urbanisasi, pembangunan industri, dan peningkatan kegiatan pertanian. Kebutuhan air yang meningkat ini akan menyebabkan eksploitasi yang berlebihan terhadap sumberdaya air tanah dan air permukaan. Hal ini memungkinkan akan mempengaruhi neraca air DAS. Oleh karena itu diperlukan pemahaman terhadap keseimbangan air. Ketidakseimbangan antara jumlah ketersediaan air dan kebutuhan yang berkepanjangan akan menimbulkan dampak terhadap masalah lingkungan yang serius. Kajian tentang neraca air pertanian diperlukan untuk menjawab pertanyaan apakah sumber daya air yang tersedia dapat memenuhi kebutuhan air yang cukup untuk irigasi. Studi ini dilakukan di Sub DAS Rawatamtu yang merupakan bagian dari DAS Bedadung. Model *Water Evaluation and Planning* (WEAP) digunakan untuk menganalisis neraca air. Prosedur ini mencakup inventarisasi data, instalasi WEAP pada

sistem, menjalankan WEAP, dan pelaksanaan simulasi WEAP untuk proyeksi kondisi neraca air masa depan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa neraca air pertanian selama 10 tahun ke depan di Sub DAS Rawatamtu akan lebih sering berada dalam kondisi surplus daripada dalam kondisi defisit. Surplus air diperkirakan terjadi pada tahun 2020, 2021, 2023, 2025, 2027, dan 2028. Surplus tertinggi terjadi pada tahun 2028 yang mencapai 56,59 juta m<sup>3</sup>. Lebih lanjut, potensi defisit neraca air diproyeksikan akan terjadi pada tahun 2019, 2022, 2024, dan 2026.

**Kata kunci: neraca air pertanian; WEAP; kebutuhan air pertanian; Rawatamtu**

## I. PENDAHULUAN

Jika dilihat dari segi tata ruang, ketersediaan air akan sangat dipengaruhi oleh kondisi DAS. Salah satu DAS di Jawa Timur yang pernah termasuk dalam kategori DAS Prioritas adalah DAS Bedadung (Menteri Kehutanan Republik Indonesia, 2009). Masuknya DAS Bedadung ke dalam DAS Prioritas menunjukkan adanya kerusakan DAS sebagai akibat dari kebutuhan lahan yang tinggi akibat meningkatnya aktivitas manusia (Justianto, 2018). Salah satu sub DAS utama di DAS Bedadung adalah Sub DAS Rawatamtu yang mempunyai luas 78.099,90 ha dan merupakan sub DAS di wilayah hulu DAS Bedadung. Data hidrologi yang dikumpulkan oleh Arifah (2015) dan Badan Pusat Statistik Kabupaten Jember (2019) menunjukkan amplitudo data curah hujan dan debit sungai Bedadung yang sangat besar dalam satu tahun di Sub DAS Rawatamtu, dimana pada bulan-bulan basah ketersediaan air sangat berlimpah dan pada bulan-bulan kering ketersediaan air menjadi sangat kecil. Fakta ini menunjukkan bahwa DAS Bedadung memiliki potensi besar mengalami bencana hidrologis (Arifah, 2015). Oleh karena itu, pengelolaan sumberdaya air yang berkelanjutan menjadi tantangan

serius terutama pada wilayah yang memiliki potensi besar mengalami bencana hidrologis dan peningkatan kebutuhan air penduduk (Hassan et al., 2017; Olsson et al., 2017; Zohrabi et al., 2017).

Pemicu peningkatan kebutuhan air adalah pertumbuhan jumlah penduduk, urbanisasi, pembangunan industri, dan peningkatan kegiatan pertanian. Faktor-faktor tersebut berdampak pada eksploitasi yang berlebihan terhadap sumberdaya air termasuk air permukaan maupun air tanah. Faktor lainnya yang menjadi penyebab konflik pengelolaan sumberdaya air adalah pesatnya pertumbuhan penduduk dan perubahan iklim yang terutama terjadi di wilayah perkotaan (Cetinkaya & Gunacti, 2018; Hussen et al., 2018; Mousavi et al., 2017; Reinhardt et al., 2018). Berdasarkan fakta yang ada, maka dibutuhkan solusi untuk mencapai ketersediaan sumberdaya air yang mampu memenuhi berbagai kebutuhan air manusia sehingga diperlukan adanya pengelolaan sumberdaya air yang efektif dan efisien (Ayele, 2016; Tena et al., 2019).

Kebutuhan dan ketersediaan air dapat diprediksi melalui model-model tertentu yang mampu menganalisis neraca air. Hasil analisis dari model tersebut dapat digunakan sebagai acuan pengambilan

keputusan terhadap pengelolaan sumberdaya air. Pemodelan neraca air mampu memprediksi dan mengevaluasi dampak dari berbagai keadaan yang mungkin terjadi di masa yang akan datang. Beberapa model yang lazim digunakan untuk menganalisis neraca air DAS dan pemodelan perencanaan kebijakan terkait sumberdaya air serta manajemennya di antaranya RIBASIM, WARGI-SIM, AQUATOOL, MODSIM, dan WEAP. Setiap model memiliki karakteristik tersendiri. Namun, fitur yang membuat perbedaan utama yaitu pada RIBASIM dan WARGI-SIM adalah model simulasi saja yang didasarkan pada pendekatan “jika-maka” yang lebih konvensional. Adapun AQUATOOL, MODSIM, dan WEAP, ketiganya menerapkan metode optimasi pada satu periode waktu simulasi, dan hasilnya digunakan sebagai mekanisme yang efisien untuk melakukan simulasi alokasi air periode tunggal dalam sistem (Sulis & Sechi, 2013).

Penerapan model simulasi, seperti RIBASIM (Omar, 2019; Sholihah *et al.*, 2017) dan WARGI-SIM (Sechi & Zucca, 2010, 2017) tidak disarankan untuk diaplikasikan pada sistem air yang kompleks (seperti, kerentanan atau keandalan pada tingkat pasokan air yang ditentukan pengguna). Namun, model simulasi ini dapat digunakan untuk memperbaiki kebijakan operasi yang digunakan oleh *stakeholder* dalam pengelolaan sumber daya air (Ayele, 2016; Sulis & Sechi, 2013).

Dalam MODSIM (Berhe *et al.*, 2013; Labadie, 2006), secara teknis masalah alokasi aliran dimodelkan menggunakan pendekatan pemodelan kebutuhan aliran

minimum dengan cara yang disederhanakan. Dalam AQUATOOL (Paredes-Arquiola *et al.*, 2014; Pedro-monzonís *et al.*, 2016), simulasi dan manajemen system air permukaan dibuat secara bersamaan dengan menyelesaikan masalah optimisasi aliran jaringan konservatif dan mencoba memaksimalkan beberapa tujuan. Dalam *Water Evaluation and Planning* (WEAP), penyelesaian masalah alokasi air menggunakan program linear standar. Hal ini memungkinkan model WEAP untuk mempertimbangkan kendala fisik, hidrologi, dan kelembagaan yang lebih kompleks daripada pendekatan kebutuhan aliran minimum (Sulis & Sechi, 2013; Yates *et al.*, 2005). WEAP juga menawarkan analisis skenario dalam pendekatan yang mudah dipahami dan mampu memberikan berbagai hasil model dengan cara yang disederhanakan. Model ini juga merupakan alat yang dapat diskalakan, dan dapat diperbarui kapan saja. Hal ini memungkinkan penyesuaian hasil model di masa mendatang. Selain itu, WEAP adalah alat yang paling umum digunakan untuk pengelolaan sumber daya air terpadu (*Integrated Water Resources Management/ IWRM*) di seluruh dunia.

WEAP telah berhasil diaplikasikan pada sejumlah sistem wilayah sungai yang kompleks, seperti di DAS Mae Klong Thailand (Khalil *et al.*, 2018), DAS Chongwe River (Tena *et al.*, 2019), Sungai Bayang, Sumatra Barat, Indonesia (Indriani *et al.*, 2018), Hulu DAS Litani di Lebanon (Ibrahim *et al.*, 2018), dan Sub DAS Abaya-Chamo di Ethiopia (Hussen *et al.*, 2018)

Pemodelan neraca air dengan menggunakan model WEAP membutuhkan sejumlah data iklim dan hidrologi tertentu serta data pasokan dan permintaan air untuk memetakan sumber daya air yang ada dan pemanfaatannya dalam Daerah Aliran Sungai (DAS) (SEI, 2016). Model WEAP mengintegrasikan permintaan air dengan pasokan air (Yates *et al.*, 2005). Integrasi model hidrologi DAS dengan proses perencanaan tata kelola air menjadikan WEAP sangat cocok untuk mengevaluasi dampak potensial dari pertumbuhan populasi, pertumbuhan ekonomi dan perubahan iklim pada neraca air. Memahami keseimbangan air di suatu wilayah sungai sangat penting untuk menentukan ketersediaan air di wilayah sungai untuk kebutuhan konsumsi selama periode waktu tertentu dan pengelolaan kebutuhan air untuk dibagi kepada para pengguna sesuai kebutuhan (Angarita *et al.*, 2018).

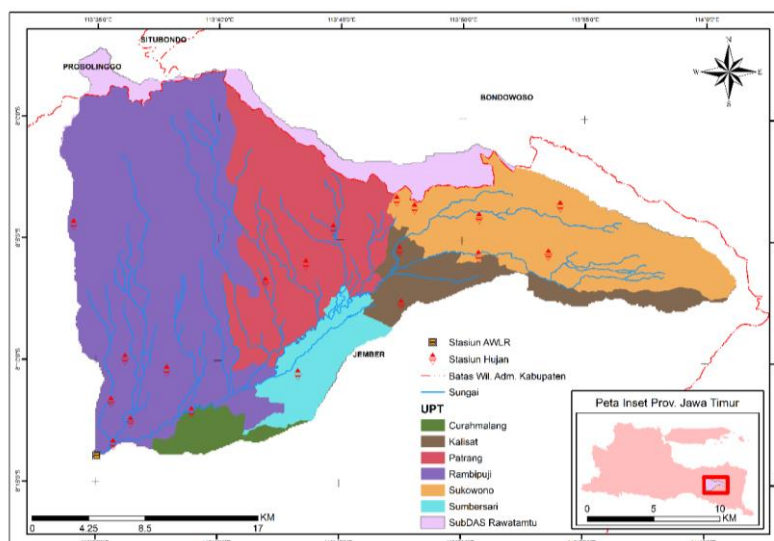
Model WEAP dalam penelitian ini digunakan untuk mengetahui dan mengevaluasi kondisi neraca air pertanian

di Sub DAS Rawatamtu. Proses pemodelan terdiri dari dua komponen utama, yaitu komponen persediaan dan permintaan. Komponen persediaan terdiri dari analisis hidrologis sungai, sedangkan komponen permintaan terdiri dari proyeksi kegiatan irigasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi neraca air pertanian di Sub DAS Rawatamtu dari tahun 2019 sampai dengan 2028.

## II. BAHAN DAN METODE

### A. Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari - Desember pada tahun 2019 di Sub DAS Rawatamtu yang secara administratif berada di Kabupaten Jember, Kabupaten Bondowoso, Kabupaten Situbondo, dan Kabupaten Probolinggo. Luas wilayah Sub DAS Rawatamtu adalah 78.100 ha. Pemilihan DAS didasarkan pada perubahan tata guna lahan yang signifikan di wilayah Tapal Kuda karena adanya perluasan area pertanian dan pemukiman penduduk di wilayah tersebut.



Gambar (Figure) 1. *Peta batas administrasi dan wilayah kerja UPT (Unit Pelaksana Teknis) Pengairan di Sub DAS Rawatamtu (The map of administrative boundaries and work area of UPT (Technical Implementation Unit) Pengairan in Rawatamtu Sub Watershed).*

Sumber (Source): *Analisa data (Data analysis), 2019.*

## B. Bahan dan Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah perangkat komputer, software pendukung seperti *Microsoft Office 2016* (berupa *Excel* dan *Word*), *Quantum GIS* (QGIS) 3.0, *CropWat 8.0* dan *WEAP*. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder. Data yang digunakan berupa data spasial dan data non spasial seperti terlihat pada Tabel 1.

## C. Metode Penelitian

### 1. Pemodelan WEAP

Model WEAP merupakan alat yang sering diaplikasikan untuk pemodelan neraca air di DAS karena sifatnya yang stokastik dari variabel aliran dan penggunaan air. Aplikasi ini merupakan perangkat lunak perencanaan sumber daya air terintegrasi yang secara umum

menyediakan kerangka kerja yang komprehensif, fleksibel dan mudah dipahami oleh pengguna untuk analisis neraca air, dapat diaplikasikan untuk perencanaan, pembuatan kebijakan, dan skenario (Sieber *et al.*, 2005). Model WEAP membutuhkan beberapa data, yaitu data iklim dan hidrologi serta data pasokan dan permintaan air untuk memetakan sumber daya air yang ada dan pemanfaatannya di DAS (SEI, 2016). Model WEAP mengintegrasikan permintaan air dengan pasokan air (Yates *et al.*, 2005).

### 2. Neraca air

Interaksi dinamis antar komponen hidrologi dapat dievaluasi melalui penelusuran proses hidrologi dan analisis neraca air. Neraca air mencakup aliran air masuk dan aliran air keluar dari daerah

Tabel (Table) 1. Kebutuhan data, alat analisis, dan sumber data (*Data requirement, analysis tools, and data sources*)

Jenis Data	Alat Analisis	Sumber Data
<b>Data Spasial</b>		
Peta <i>Digital Elevation Model</i> Nasional (DEMNAS)	Geostatistik menggunakan QGIS 3.0	Badan Informasi Geospasial (BIG) ( <a href="http://tides.big.go.id/demnas/">http://tides.big.go.id/demnas/</a> )
Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) Digital Skala 1:25.000		Website Ina-Geoportal ( <a href="http://tanahair.indonesia.go.id/portal-web">http://tanahair.indonesia.go.id/portal-web</a> )
Peta Tata Guna Lahan/ Tutupan Lahan		
Peta Batas DAS		
Peta Jenis Tanah	Faktor Palawija Relatif (FPR) Luas Palawija Relatif (LPR) menggunakan Ms. Excel	Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Hutan Lindung (BPDAS-HL) Brantas-Sampean di Sidoarjo
<b>Data Non Spasial</b>		
Data Kebutuhan Air Pertanian	FPR LPR menggunakan Ms. Excel	Dinas Pekerjaan Umum (PU) Bina Marga dan Sumberdaya Air Kab. Jember
Data Curah Hujan	Aritmatika menggunakan Ms. Excel	
Data Temperatur Udara		
Data Kelembaban	Evapotranspirasi menggunakan CropWat 8.0	Stasiun Iklim Bendung Umbul Lumajang yang Dikelola oleh Unit Pelaksana Teknis Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai (UPT PSDA-WS) Bondoyudo Baru di Lumajang
Data Kecepatan Angin		
Intensitas Penyinaran Matahari		

Sumber (Source): *Analisa data (Data analysis)*, 2019

tangkapan air. Volume aliran keluar harus sama dengan volume aliran masuk. Apabila ada surplus atau defisit menandakan bahwa ada perubahan pada cadangan air tanah. Definisi keseimbangan air didasarkan pada prinsip-prinsip konservasi massa dalam sistem atau daerah tangkapan air yang tertutup.

Persamaan (1) (Soewarno, 2015) digunakan dalam perhitungan neraca air

$$P + ExtIn = ET + Q + ABST + \Delta S \dots\dots(1)$$

Keterangan (*Remarks*):

- P = Curah hujan
- ExtIn = Aliran masuk
- ET = Evapotranspirasi aktual
- Q = Debit sungai,
- ABST = Total kebutuhan air,
- $\Delta S$  = Perubahan cadangan air tanah.

### 3. Model Data WEAP

#### a. Input Data

Input data yang digunakan berupa data curah hujan dan evapotranspirasi. Perhitungan evapotranspirasi dihitung menggunakan aplikasi CropWat versi 8.0 (Clarke, 1998). Data yang diperlukan antara lain: suhu udara minimum, suhu udara maksimum, rata-rata kelembaban (RH), kecepatan angin, dan lama penyinaran/ radiasi (Tabel 2)

Data fisik terkait penggunaan lahan yang diperlukan aplikasi yaitu data luas tutupan lahan pada DAS, koefisien tanaman, dan persentase hujan efektif. Data tutupan lahan didapatkan dari Peta digital RBI tahun 2010 dan peta digital tutupan lahan Sub DAS Rawatamtu dari BPDASHL Brantas-Sampean tahun 2017 disajikan dalam Gambar 2. Data tersebut diolah dengan metode geostatistik

(Indarto, 2013a) menggunakan *tool* QGIS versi 3.0. Hasil pengolahan data tersebut ditunjukkan pada Tabel 3.

#### b. Data Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air irigasi merupakan jumlah air yang diperlukan untuk irigasi. Pada proses penyaluran air dari bangunan irigasi menuju daerah layanan harus direncanakan berdasarkan debit rencana awal desain aset irigasi. Kebutuhan air ini dapat dihitung dengan cara mengetahui pola tata tanam pada setiap lahan pertanian selama satu tahun. Pola tanam di Indonesia umumnya dikelompokkan dalam 3 jenis tanaman yaitu padi, tebu dan palawija.

Standar Perencanaan Irigasi KP-01 (1986:217) dalam (Dewi *et al.*, 2014; Haliem *et al.*, 2012; Jatmiko, 2018) menyatakan bahwa debit rencana adalah debit yang digunakan untuk perencanaan bangunan air. Cara menentukan nilai debit rencana adalah dengan cara menggunakan metode Faktor Palawija Relatif (FPR) dan Luas Palawija Relatif (LPR). FPR merupakan debit air yang dibutuhkan di bangunan sadap tersier seluas satu hektar (Haliem *et al.*, 2012). Adapun LPR merupakan perbandingan kebutuhan air antara jenis tanaman satu dengan jenis tanaman lainnya (Dewi *et al.*, 2014). Sari (2016) menyatakan bahwa persamaan luas palawija relatif adalah sebagai berikut:

$$LPR = A_{crop} \times C_{crop} \dots\dots\dots(2)$$

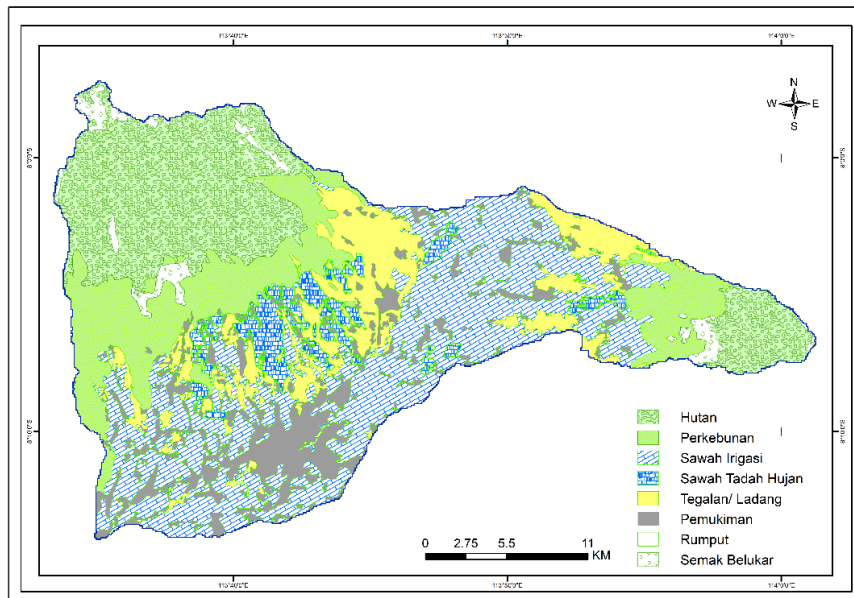
Keterangan (*Remarks*):

- LPR = Luas palawija relatif (ha.pol)
- $A_{crop}$  = Luas tanaman (ha)
- $C_{crop}$  = Koefisien jenis tanaman

Tabel (Table) 2. Rata-rata data meteorologi dan klimatologi di wilayah penelitian (Average meteorological and climatological data in research area)

Dasarian (Tendays)	Suhu Min °C (Min Temp °C)	Suhu Maks °C (Max Temp °C)	RH % (Relatif humidity %)	Angin km/hari (Wind speed km/day)	Intesitas MH Jam (MH intensity Hour)	Radiasi MJ/m <sup>2</sup> /hari (Radiation MJ/m <sup>2</sup> /day)	ETo mm/hari (Evapotranspi- ration mm/day)
Jan I	23,0	29,3	89,5	45,1	3,9	15,1	3,3
Jan II	23,1	29,7	89,6	44,6	3,8	15,0	3,3
Jan III	23,0	29,6	89,7	49,3	4,2	15,7	3,4
Feb I	23,0	29,6	89,7	51,1	3,8	15,1	3,3
Feb II	22,8	29,9	89,8	45,1	4,0	15,3	3,3
Feb III	22,6	29,5	90,5	41,8	4,0	15,4	3,3
Mar I	22,6	29,4	90,1	52,1	4,0	15,2	3,2
Mar II	22,5	29,6	90,5	43,5	5,0	16,5	3,5
Mar III	22,9	29,6	89,3	44,5	5,5	16,8	3,5
Apr I	23,0	29,8	89,9	38,0	5,5	16,2	3,4
Apr II	22,7	29,8	89,7	37,9	5,6	16,0	3,4
Apr III	22,6	29,9	89,6	38,1	6,0	16,1	3,4
Mei I	22,3	28,9	89,5	42,3	5,6	15,1	3,1
Mei II	22,0	28,9	89,4	41,1	6,3	15,9	3,2
Mei III	21,9	29,1	89,3	42,3	6,1	15,4	3,1
Jun I	22,1	28,7	89,6	44,9	6,4	15,6	3,1
Jun II	21,9	28,5	89,6	47,3	7,0	16,4	3,2
Jun III	21,6	28,0	89,5	49,5	6,7	16,3	3,1
Jul I	21,1	28,2	89,3	53,2	6,9	16,7	3,2
Jul II	21,8	28,6	89,1	53,0	6,5	16,5	3,3
Jul III	21,4	28,8	88,5	51,7	6,8	17,3	3,4
Agu I	21,0	28,6	88,5	54,4	6,6	17,4	3,4
Agu II	21,1	28,7	88,9	57,0	6,5	17,7	3,6
Agu III	21,4	28,8	88,9	56,0	6,5	18,0	3,6
Sep I	22,0	29,2	89,3	52,5	6,4	18,2	3,7
Sep II	22,3	29,6	89,7	55,5	6,6	18,8	3,9
Sep III	22,4	29,8	89,3	55,5	6,8	19,4	4,0
Okt I	22,1	29,4	89,9	51,7	5,9	18,1	3,8
Okt II	22,7	29,8	89,5	52,1	6,6	19,4	4,1
Okt III	23,2	30,0	89,7	44,9	6,4	19,0	4,1
Nov I	23,1	29,6	89,8	42,5	5,5	17,8	3,8
Nov II	23,1	29,9	89,7	40,9	5,9	18,4	3,9
Nov III	22,8	29,9	89,5	41,5	5,1	17,0	3,6
Des I	22,9	30,0	89,9	39,8	4,5	16,0	3,4
Des II	22,8	29,8	89,9	43,1	4,6	16,1	3,5
Des III	22,6	29,6	90,4	42,1	4,3	15,5	3,3

Sumber (Source): Hasil pengamatan stasiun klimatologi Bendung Umbul Lumajang tahun 2002-2018 dan analisis data tahun 2019 (Observations data of the climatology station of Umbul Dam Lumajang in 2002-2018 and data analysis in 2019)



Gambar (Figure) 2. Peta tutupan lahan Sub DAS Rawatamtu Tahun 2017 (The land cover map of Rawatamtu Sub Watershed in 2017)

Sumber (Source): BPDASHL Brantas-Sampean, 2017

Tabel (Table) 3. Luas tutupan lahan (Land cover area)

Tutupan lahan (Land cover)	Tahun (Year) 2010	Luas (Area) (ha)		Persentase (Percentage)
		Persentase (Percentage)	Tahun (Year) 2017	
Hutan	20243,8	25,9%	17575,8	22,5%
Kebun Campuran	12868,7	16,5%	12676,5	16,2%
Tegalan/ladang	9324,5	11,9%	9528,3	12,2%
Pemukiman	9448,2	12,1%	9128,4	11,7%
Sawah Irigasi	17964,7	23,0%	23087,1	29,6%
Semak Belukar	3414,7	4,4%	1955,3	2,5%
Sawah Tadah Hujan	4288,6	5,5%	4066,7	5,2%
Rumput	546,7	0,7%	81,9	0,1%
<b>Total</b>	<b>78099,9</b>	<b>100,0%</b>	<b>78099,9</b>	<b>100,0%</b>

Sumber (Souce): Peta RBI digital Tahun 2010 dan Peta Tutupan Lahan BPDASHL Brantas-Sampean Tahun 2017 (Digital RBI map of 2010 and BPDASHL Brantas-Sampean Land Cover Map of 2017)

Dinas Pekerjaan Umum (DPU) Tingkat I Jawa Timur (1997) dalam (Dewi *et al.*, 2014) mengungkapkan bahwa kebutuhan air irigasi (Q) diperoleh dari hasil perkalian LPR dan FPR dan dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$Q = LPR \times FPR \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan (Remarks):

Q = Debit bangunan utama (liter/detik)

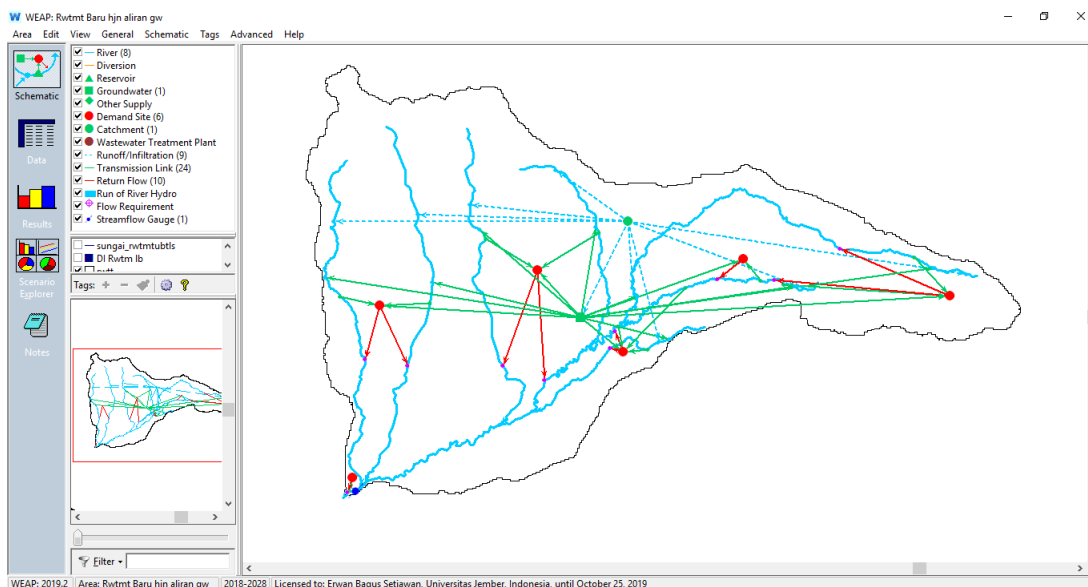
LPR = Luas palawija relatif (ha.pol)

FPR = Faktor palawija relatif (liter/detik/ha).

c. Peta Skematik Model WEAP Sub DAS Rawatamtu

Peta batas Sub DAS Rawatamtu didapatkan dari hasil ekstrak peta DEMNAS dengan menggunakan aplikasi QGIS. Dalam merekayasa model hidrologi Sub DAS Rawatamtu diperlukan data vektor lain seperti data jaringan aliran sungai dan lokasi titik tiap daerah irigasi. Model skematik WEAP dari model hidrologi hidrologi Sub DAS Rawatamtu dapat dilihat pada Gambar 3.





Gambar (Figure) 3. Peta skema WEAP Sub DAS Rawatamtu (The WEAP scheme map of Rawatamtu Sub Watershed)

Sumber (Source): Analisa data (Data analysis), 2019

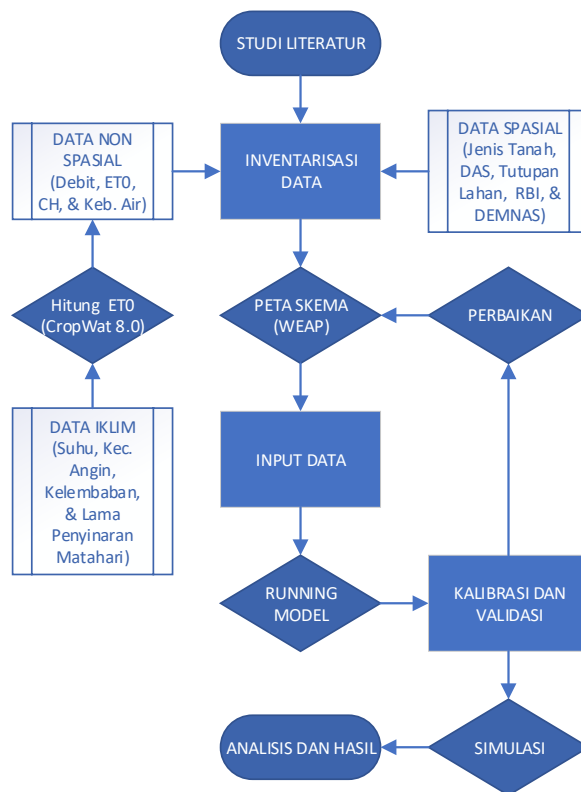
Peta skema WEAP (Gambar 3) menunjukkan batas wilayah Sub DAS Rawatamtu, aliran sungai utama yang berupa garis biru, dan beberapa titik (*nodes*) pasokan (*supply*) dibedakan menjadi dua, titik yang berbentuk bulat berwarna hijau dimaknai sebagai titik tangkapan air dimana dalam penelitian ini menggunakan pendekatan hujan-aliran (*rainfall-runoff*) sehingga dalam satu DAS dianggap memiliki hujan yang sama dan titik berbentuk kotak berwarna hijau mewakili cadangan air tanah (*groundwater*), sedangkan titik kebutuhan air (*demand*) diwakili titik berbentuk bulat berwarna merah. Titik-titik tersebut saling dihubungkan oleh garis transmisi. Garis yang berwarna biru putus-putus dimaknai sebagai aliran permukaan (*surface runoff*), garis hijau sebagai pengambilan (*transmission link*) dan garis merah sebagai pembuangan (*return flow*).

#### d. Kalibrasi dan Validasi

Kalibrasi model hidrologis DAS dalam aplikasi WEAP menggunakan *tool* PEST (*Parameter Estimation Tool*). Model WEAP dikalibrasi dengan data debit Sungai Bedadung yang diamati di *Automatic Water Level Recorder* (AWLR) Rawatamtu dari tahun 2001 s.d 2017.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (q_t^s - q_t^o)^2}{\sum_{t=1}^T (q_t^o - \bar{q}_0)^2} \dots\dots\dots(4)$$

Penilaian keandalan model yang telah didapatkan dihitung nilai koefisien determinannya ( $R^2$ ) dan koefisien efisiensi model *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE). Nilai  $R^2$  didapatkan dari perhitungan yang telah disediakan MS. Excel sedangkan NSE dihitung menggunakan Persamaan (4). Data yang dibandingkan adalah data rata-rata debit sungai simulasi model dengan debit sungai teramati dasarian. Diagram alir penelitian disajikan dalam Gambar 4.



Gambar (Figure)4. Diagram alir model neraca air pertanian Sub DAS Rawatamtu (*Agricultural water balance model flowchart of Rawatamtu Sub Watershed*)

Sumber (Source): *Analisa data (Data analysis)*, 2019

e. Asumsi Model

- Model neraca air pertanian untuk prediksi keadaan neraca air pertanian 10 tahun yang akan datang
- Data terbaru yang digunakan adalah data tahun 2018
- Distribusi curah hujan menggunakan pendekatan hujan-aliran

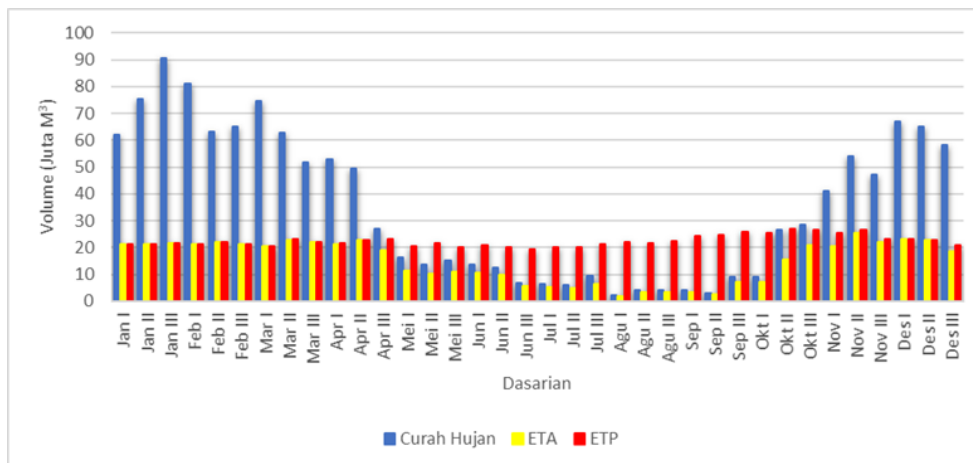
38,8 juta m<sup>3</sup>; 24,5 juta m<sup>3</sup> dan 16,0 juta m<sup>3</sup> dalam satu tahun. Pada grafik didapatkan bahwa terjadi defisit pasokan air hujan pada dasarian Mei I sampai dengan dasarian Oktober 1.

Selain itu didapatkan temuan yang menarik bahwa diperkirakan terjadi peningkatan jumlah curah hujan di Sub DAS Rawatamtu dalam 10 tahun mendatang (Gambar 6). Namun berbeda halnya dengan ETP dan ETA di Sub DAS Rawatamtu yang nilainya cenderung tetap dan tidak banyak berubah seperti tahun-tahun sebelumnya. Nilai evapotranspirasi dan curah hujan ini dapat digunakan untuk menghitung ketersediaan air meterologis yang dapat menunjukkan nilai surplus maupun defisit setiap bulannya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Evapotranspirasi

Hasil perhitungan evapotranspirasi aktual (ETA) dan evapotranspirasi potensial (ETP) didapatkan dari model WEAP seperti yang ditampilkan grafik pada Gambar 5. Didapatkan hasil bahwa nilai curah hujan (CH), ETA dan ETP di Sub DAS Rawatamtu berturut-turut adalah



Gambar (Figure) 5. Grafik volume curah hujan, ETA, dan ETP dasarian di Sub DAS Rawatamtu (Ten-days rainfall, ETA, and potential ETP graph of Rawatamtu Sub Watershed)

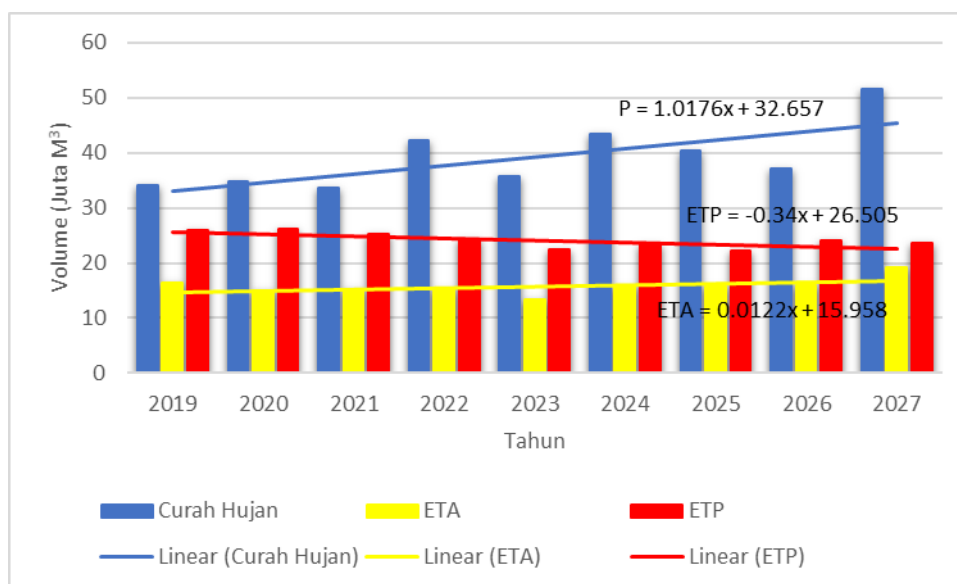
Sumber (Source): Analisa data (Data analysis), 2019

Gambar 6 menunjukkan CH dan ETA dalam proyeksi pemodelan WEAP mengalami peningkatan rata-rata sebesar 6,0% untuk curah hujan dan 2,4% untuk ETA. Adapun untuk ETP diproyeksikan mengalami penurunan rata-rata sebesar -0,68%. Tren yang diamati selama 10 tahun menunjukkan bahwa curah hujan di Sub DAS Rawatamtu bervariasi. Sementara

evapotranspirasi aktualnya cenderung tetap.

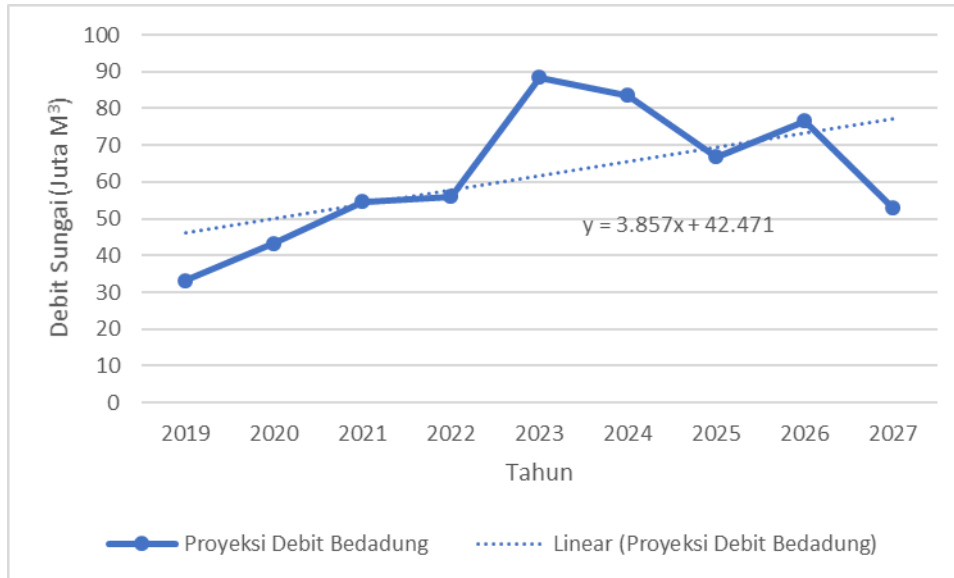
### B. Debit Sungai Bedadung

Gambar 7 menunjukkan proyeksi debit Sungai Bedadung. Hasil proyeksi menunjukkan debit Sungai Bedadung fluktuatif pada tiap tahunnya, tetapi memiliki kecenderungan peningkatan rata-rata sebesar 5,6%.



Gambar (Figure) 6. Grafik proyeksi CH, ETP dan ETA di Sub DAS Rawatamtu pada tahun 2019 s.d. 2028 (Rainfall, ETP, and ETA of 2019 – 2028 projected graph of Rawatamtu Sub Watershed)

Sumber (Source): Analisa data (Data analysis), 2019

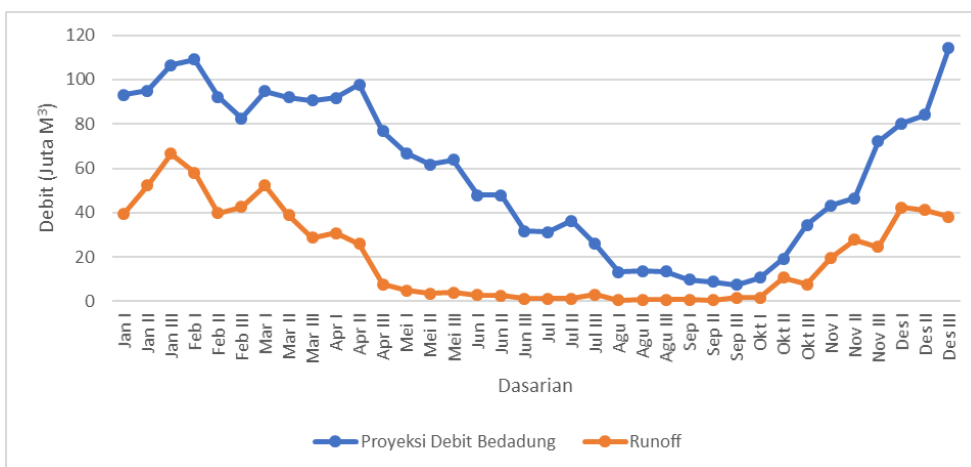


Gambar (Figure) 7. Grafik proyeksi debit Sungai Bedadung Tahun 2019 sampai dengan 2028 (Projected Bedadung River discharge graph in the year of 2019 to 2028)

Sumber (Source): Analisa data (Data analysis), 2019

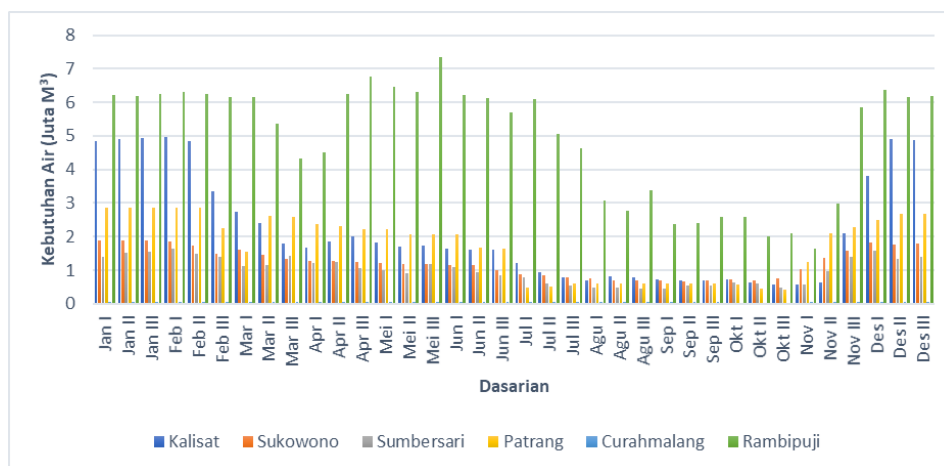
Gambar 8 menunjukkan hasil proyeksi debit Sub DAS Rawatamtu dan aliran permukaan (*surface runoff*). Gambar tersebut menunjukkan bahwa puncak debit berada pada bulan Desember sedangkan pada bulan September mengalami debit terendah. Fenomena ini terjadi karena pada bulan November mulai memasuki musim penghujan,

sedangkan pada bulan September berada pada akhir musim kemarau. Hal ini sesuai dengan Gambar 5 yang menunjukkan bahwa bulan Desember nilai curah hujan mengalami peningkatan yang diikuti oleh kenaikan debit sedangkan bulan September memiliki nilai curah hujan yang rendah sesuai dengan nilai debit pada Gambar 8.



Gambar (Figure) 8. Rata-rata debit dasarian dan limpasan Sungai Bedadung dan aliran permukaan (Average ten-days Bedadung River discharge and surface runoff)

Sumber (Source): Analisa data (Data analysis), 2019



Gambar (Figure) 9. Rata-rata kebutuhan air padi Sub DAS Rawatamtu (Average agricultural water demand of Rawatamtu SubWatershed)

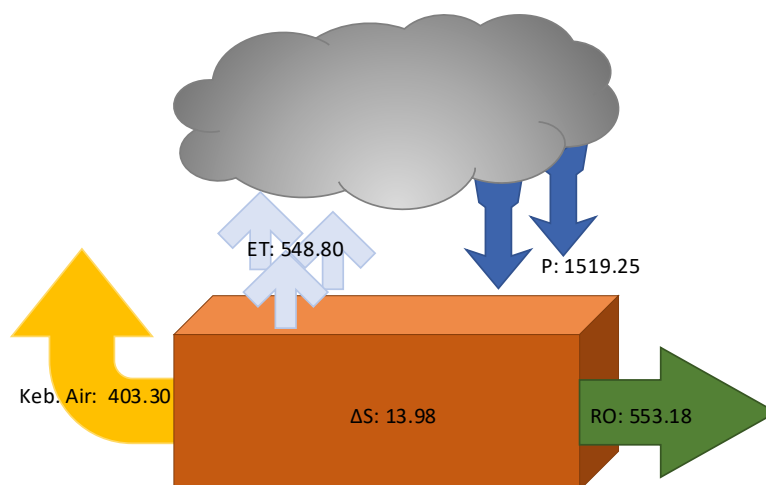
Sumber (Source): Analisa data (Data analysis), 2019

### C. Kebutuhan Air Pertanian

Kebutuhan air pertanian didasarkan dengan perhitungan LPR dan FPR untuk setiap UPT yang berada di SubDAS Rawatamtu. Kebutuhan air setiap UPT disajikan pada Gambar 9. Rata – rata kebutuhan air pertanian di SubDAS Rawatamtu berikut.

### D. Ringkasan Neraca Air hidrologis

Neraca air Sub DAS Rawatamtu yang dimodelkan oleh WEAP secara sederhana ditampilkan pada Gambar 10, sementara itu, perhitungan neraca air pertanian tahunan Sub DAS Rawatamtu tertera pada Tabel 4.



Gambar (Figure) 10. Model neraca air pertanian Sub DAS Rawatamtu tahun 2023 dalam satuan juta m<sup>3</sup> (Rawatamtu Sub Watershed agricultural water balance modelling at 2023 (million m<sup>3</sup>))

Sumber (Source): Analisa data (Data analysis), 2019

Tabel (Table) 4. Perhitungan neraca air pertanian tahunan Sub DAS Rawatamtu (Yearly agricultural water balance of Rawatamtu Sub Watershed)

Tahun	Curah Hujan (Juta m <sup>3</sup> )	Kebutuhan Air Pertanian (Juta m <sup>3</sup> )	Evapotranspirasi (Juta m <sup>3</sup> )	Aliran Permukaan (Juta m <sup>3</sup> )	Δ Cadangan Air Tanah (Juta m <sup>3</sup> )
2019	1.232,82	403,30	582,29	270,99	-23,76
2020	1.230,05	393,75	589,68	230,25	16,37
2021	1.250,78	403,47	539,13	307,38	0,8
2022	1.213,65	393,69	547,46	272,51	-0,01
2023	1.519,25	403,30	548,80	553,18	13,98
2024	1.283,23	393,75	482,63	433,40	-26,55
2025	1.567,51	403,47	564,92	577,48	21,64
2026	1.454,17	393,69	569,21	502,25	-10,98
2027	1.335,87	403,30	572,77	352,93	6,86
2028	1.855,61	393,75	691,95	713,32	56,59

Sumber (Source) : Analisis Data (Data Analysis), 2019

Neraca air di Sub DAS Rawatamtu selama 10 tahun ke depan akan mengalami surplus. Surplus merupakan kelebihan air dengan keadaan nilai curah hujan lebih besar daripada penguapan/evapotranspirasi potensial. Surplus air diperkirakan akan terjadi pada tahun 2020, 2021, 2023, 2025, 2027 dan 2028. Surplus tertinggi terjadi pada tahun 2028 yang mencapai 56,6 m<sup>3</sup>. Sepanjang 10 tahun ke depan Sub DAS Rawatamtu akan mengalami surplus air, maka dapat diperkirakan dengan nilai surplus yang besar akan berpotensi terjadi banjir.

Sementara itu pada tahun 2019, 2022, 2024 dan 2026 Sub DAS Rawatamtu akan mengalami defisit. Defisit tertinggi terjadi pada tahun 2024 yang mencapai 26,5 juta m<sup>3</sup>. Defisit merupakan keadaan cuaca dengan jumlah evapotranspirasi aktual yang melebihi curah hujan. Hal ini menandakan bahwa seluruh air hujan akan dievapotranspirasikan bersama-sama dengan air yang ditarik dari tanah. Pada kondisi defisit, kandungan air tanah akan mengalami penurunan sehingga

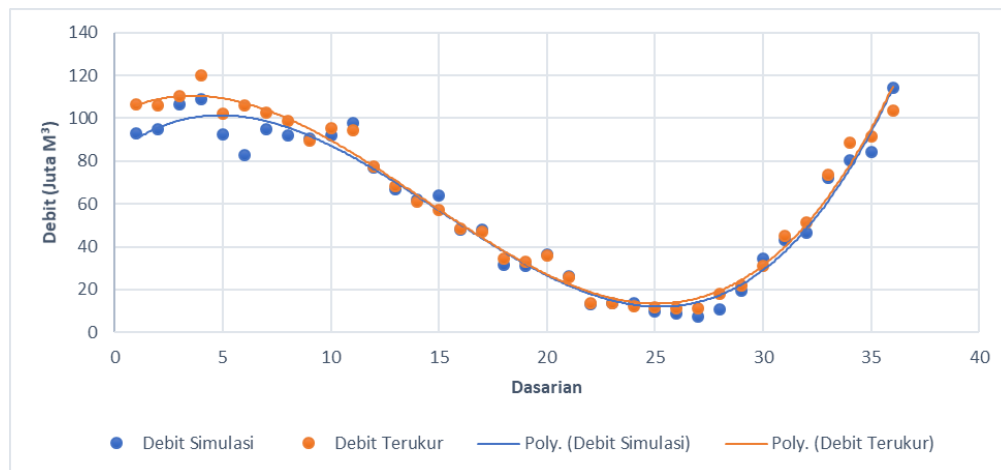
cadangan air berkurang seiring dengan berkurangnya curah hujan. Hal ini akan mengakibatkan wilayah Sub DAS Rawatamtu mengalami kekeringan atau kekurangan air.

#### E. Kalibrasi dan Validasi Model

Debit simulasi dan debit observasi dibandingkan untuk mengetahui kehandalan model (Gambar 11 dan 12). Berdasarkan grafik tersebut didapatkan fakta bahwa nilai debit simulasi sedikit lebih rendah daripada debit observasi.

Sementara itu, dihitung pula koefisiensi deterministik rata-rata debit simulasi Sub DAS Rawatamtu (Gambar 12). Dari perhitungan *Nash-Sutcliffe Coefficient* (NSC) didapatkan nilai 0,965, sedangkan hasil perhitungan R<sup>2</sup> menunjukkan nilai 0,974. Kedua nilai tersebut menunjukkan adanya hubungan yang erat antara debit simulasi dan debit observasi Sungai Bedadung.

Perencanaan pemanfaatan air terutama untuk pertanian (tanaman pangan, hortikultura, perkebunan,



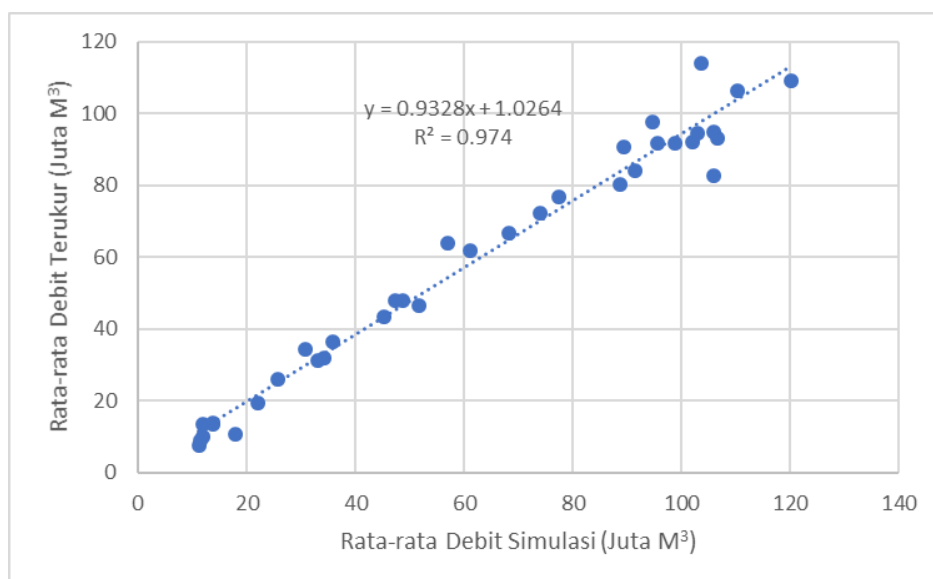
Gambar (Figure) 11. Grafik debit sungai simulasi dan debit sungai observasi (*The graph of simulated and observed river discharge*)

Sumber (Source): Analisa data (*Data analysis*), 2019

kehutanan hingga perikanan) harus mempertimbangkan kondisi neraca air suatu daerah. Hasil analisis neraca air ini dapat dijadikan dasar untuk melakukan tindakan-tindakan antisipasi bencana banjir dan kekeringan yang mungkin terjadi, seperti pembuatan saluran drainase, penentuan teknik pengendalian banjir yang tepat, pembuatan embung,

penentuan jenis konservasi di wilayah hulu Sub DAS Rawatamtu.

Hasil dari model neraca air pertanian Sub DAS Rawatamtu seperti pada Tabel 4, menunjukkan bahwa komponen utama aliran yang masuk ke Sub DAS Rawatamtu adalah curah hujan. Gambar 6 menunjukkan komponen curah hujan mengalami kenaikan rata-rata



Gambar (Figure) 12. Scatter plot debit simulasi dengan debit observasi sungai Bedadung (*The scatter plot of simulated and observed discharge of Bedadung river*)

Sumber (Source): Analisa data (*Data analysis*), 2019

sebesar 1,9 juta m<sup>3</sup>/tahun. Kenaikan curah hujan juga ditemukan oleh (Indarto *et al.*, 2011; Setiawan *et al.*, 2019; Shiddiq *et al.*, 2018) di beberapa wilayah di Jawa Timur.

Komponen aliran yang keluar dari Sub DAS Rawatamtu pada Tabel 4 menunjukkan bahwa komponen evapotranspirasi merupakan komponen terbesar. Nilai evapotranspirasi pada tiap tahunnya rata-rata mencapai 41,2% dari nilai curah hujan. Hal serupa juga ditemukan (Setiawan & Hariyanto, 2017) di wilayah Kabupaten Tulungagung. Komponen konsumsi air pertahun rata-rata mencapai 29,1% dari nilai curah hujan. Nilai tersebut adalah akumulasi dari kebutuhan air untuk irigasi teknis pada tiap tahunnya (Indriani *et al.*, 2018). Kebutuhan rata-rata air irigasi masing-masing UPT Pengairan antara lain: UPT Kalisat 76,7 juta m<sup>3</sup>/tahun; UPT Sukowono 44,1 juta m<sup>3</sup>/tahun, UPT Sumpersari 36,2 juta m<sup>3</sup>/tahun; UPT Patrang 62,1 juta m<sup>3</sup>/tahun; UPT Curahmalang 1,9 juta m<sup>3</sup>/tahun; dan UPT Rambipuji 177,1 juta m<sup>3</sup>/tahun. Nilai kebutuhan air dari keseluruhan UPT Pengairan memiliki nilai yang sangat berbeda, hal ini disebabkan cakupan daerah layanan UPT Pengairan dibatasi hanya di wilayah Sub DAS Rawatamtu saja. Selain komponen evapotranspirasi dan kebutuhan air, aliran permukaan juga termasuk salah satu komponen yang ke luar Sub DAS Rawatamtu seperti terlihat pada Tabel 4. Nilai komponen aliran permukaan rata-rata pertahunnya mencapai 29,4% dari nilai curah hujan. Nilai komponen aliran permukaan yang cenderung besar tersebut sesuai dengan penelitian

(Indarto, 2013b; Indarto *et al.*, 2010) di wilayah Sub DAS Rawatamtu.

Sisa dari ketiga komponen aliran yang keluar dari Sub DAS Rawatamtu di atas merupakan komponen perubahan cadangan air tanah. Nilai komponen tersebut dapat bernilai positif maupun negatif tergantung pada kondisi curah hujan yang terjadi. Nilai positif menunjukkan adanya surplus sumberdaya air di wilayah tersebut, sedangkan nilai negatif menunjukkan hal yang sebaliknya. Nilai perubahan cadangan air rata-rata sebesar 0,3% dari nilai curah hujan. Nilai tersebut menunjukkan di wilayah penelitian rata-rata akan mengalami surplus sumberdaya air (Tena *et al.*, 2019).

#### IV. KESIMPULAN

Diperkirakan neraca air Sub DAS Rawatamtu selama 10 tahun ke depan akan sering mengalami surplus. Surplus air diperkirakan akan terjadi pada Tahun 2020, 2021, 2023, 2025, 2027 dan 2028. Surplus tertinggi terjadi pada Tahun 2028 yang mencapai 56,6 juta m<sup>3</sup>. Sementara itu defisit neraca air diproyeksikan terjadi pada tahun 2022, 2024 dan 2026. Neraca air Sub DAS Rawatamtu akan sering mengalami surplus daripada defisit, sehingga diperkirakan kondisi Sub DAS Rawatamtu akan mengalami banjir selama 10 tahun ke depan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Hibah DRPM Kementerian Ristek DIKTI skim Penelitian Pascasarjana - Penelitian Tesis Mahasiswa (PPS-PTM) tahun anggaran 2019, melalui SK nomor: 07/E/KPT/2019 dengan nomor kontrak DRPM: 061/SP2H/LT/2019 dan nomor surat penugasan:



1846/UN25.3.1/LT/2019 atas nama Dr. Sri Wahyuningsih, S.P., M.T. Berjudul: "Pemodelan Neraca Air DAS Bedadung". Ucapan terimakasih kepada Badan Informasi Geospasial (BIG), Ina-Geoportal, BPDASHL Brantas-Sampean di Sidoarjo, Dinas PU Bina Marga dan Pengairan Kab. Jember, UPT PSDA WS Bondoyudo Baru di Lumajang, dan Laboratorium Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan (TPKL) Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember, serta individu yang telah membantu penulis dalam pendanaan penelitian ataupun bantuan dalam bentuk lain.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Angarita, H., Wickel, A. J., Sieber, J., Chavarro, J., Maldonado-Ocampo, J. A., Herrera-R, G. A., ... Purkey, D. (2018). Basin-scale impacts of hydropower development on the Mompós Depression wetlands , Colombia. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22, 2839–2865. <https://doi.org/https://doi.org/10.5194/hess-22-2839-2018>
- Arifah, A. U. (2015). *Prediksi tinggi genangan banjir pada Daerah Aliran Sungai Bedadung di Jember*. Universitas Jember.
- Ayele, A. S. (2016). *Application of Water Evaluation and Allocation Planning (WEAP) model to assess future water demands and water balance of The Caledon River Basin*. (Central University of Technology). <https://doi.org/10.5539/mas.v5n1p38>
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Jember. (2019). Kabupaten Jember Dalam Angka. In *BPS Kabupaten Jember* (Vol. 1). Jember.
- Berhe, F. T., Melesse, A. M., Hailu, D., & Sileshi, Y. (2013). Catena MODSIM-based water allocation modeling of Awash River Basin , Ethiopia. *Catena*, 109, 118–128. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.04.007>
- Cetinkaya, C. P., & Gunacti, M. C. (2018). Multi-Criteria analysis of water allocation scenarios in a Water Scarce Basin. *Water Resour Manage*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11269-018-1963-z> Multi-Criteria
- Clarke, D. (1998). *CropWat for Windows : User Guide*. Southampton: University of Southampton.
- Dewi, C. R., Priyantoro, D., & Harisuseno, D. (2014). Tinjauan faktor K sebagai pendukung rencana sistem pembagian air irigasi berbasis FPR studi di jaringan irigasi Pirang Kabupaten Bojonegoro. *Jurnal Teknik Pengairan*.
- Haliem, W., Juwono, P. T., & Priyantoro, D. (2012). Studi pola penatagunaan potensi air sumber pitu di Wilayah Kali Lajing Sebagai Dasar Pengembangan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Amprong. *Jurnal Pengairan*, 3(No 2), 230–239.
- Hassan, D., Bano, R., Burian, S. J., & Ansari, K. (2017). Modeling water demand and supply for future water resources management. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 8(5), 1745–1750.
- Hussen, B., Mekonnen, A., & Pingale, S. M. (2018). Integrated water resources management under climate change

- scenarios in the sub-basin of Abaya-Chamo , Ethiopia. *Modeling Earth Systems and Environment*. <https://doi.org/10.1007/s40808-018-0438-9>
- Ibrahim, A., Fayyad, A., Najm, M. A., & El-Fadel, M. (2018). Sustainability of basin level development under a changing climate. *International Journal Sustainable Development Planning*, 13(3), 394–405. <https://doi.org/10.2495/SDP-V13-N3-394-405>
- Indarto, I. (2013a). *Analisis Geostatistik*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Indarto, I. (2013b). Studi tentang karakteristik fisik dan hidrologi pada 15 DAS di Jawa Timur. *Forum Geografi*, 27(2), 163–182.
- Indarto, Susanto, B., & Diniardi, E. M. (2011). Analisis kecenderungan data hujan di jawa timur menggunakan Metode Mann-Kendall dan Rank Sum Test. *Jurnal Keteknikan Pertanian*, 25(37), 19–28.
- Indarto, Wahyuningsih, S., & Affandi, I. (2010). Karakteristik hidro-meteorologi DAS-DAS Di UPT PSAWS Bondoyudo-Mayang : Aplikasi Statistik Untuk Analisis Data Rentang Waktu. *Universitas Jember*, 16(1), 35–46.
- Indriani, S. N., Setiawan, A. A., & Budiarto, R. (2018). Demand simulation for water, food irrigation, and energy from micro hydro power plant in Sungai Bayang, Bayang Utara, Pesisir Selatan West Sumatra. *E3S Web of Conferences*, 43, 01015. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184301015>
- Jatmiko, B. C. (2018). *Analisis kebutuhan air tanaman dan indeks pertanaman pada Sub DAS Antokan Kabupaten Bondowoso*. Universitas Jember.
- Justianto, A. (2018). DAS Kritis: Tantangan sains pengelolaan das di Indonesia. diambil 10 Januari 2019, dari Balai Litbang Teknologi Pengelolaan DAS (Balitek DAS) website: <http://www.fordamof.org/berita/post/5460-das-kritis-tantangan-sains-pengelolaan-das-di-indonesia>
- Khalil, A., Rittima, A., & Phankamolsil, Y. (2018). The projected changes in water status of the Mae Klong Basin , Thailand , using WEAP model. *Paddy and Water Environment*. <https://doi.org/10.1007/s10333-018-0638-y>
- Labadie, J. W. (2006). MODSIM : Decision support system for integrated river basin Management MODSIM : Decision support system for integrated river. *3rd International Congress on Environmental Modelling and Software*.
- Menteri Kehutanan Republik Indonesia. *Keputusan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor: SK.328/Menhut-II/2009 tentang Penetapan Daerah Aliran Sungai (DAS) Prioritas dalam Rangka Rencana Pembangunan Jangka Menengah (RPJM) Tahun 2010-2014*. , (2009).
- Mousavi, S. J., Anzab, N. R., Asl-Rousta, B., & Kim, J. H. (2017). Multi-Objective Optimization-Simulation for reliability-based inter-basin water allocation. *Water Resour Manage*. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1678-6>
- Olsson, T., Kämäräinen, M., Santos, D., Seitola, T., Tuomenvirta, H., Haavisto, R., & Lavado-casimiro, W. (2017). Journal of Hydrology : Regional studies downscaling climate projections for the Peruvian coastal Chancay- Huaral Basin to support

- river discharge modeling with WEAP. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 13, 26–42. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.05.011>
- Omar, M. M. (2019). Evaluation of actions for better water supply and demand management in Fayoum , Egypt using RIBASIM Evaluation of actions for better water supply and demand management in Fayoum , Egypt using RIBASIM. *Water Science*, 27(54), 78–90. <https://doi.org/10.1016/j.wsj.2013.12.008>
- Paredes-Arquiola, J., Solera, A., Martinez-Capel, F., Mombloch, A., & Andreu, J. (2014). Integrating water management , habitat modelling and water quality at the basin scale and environmental flow assessment : case study of the Tormes River , Spain Integrating water management , habitat modelling and water quality at the basin scale and envi. *Hydrological Sciences Journal*, 3–4(October 2014), 878–889. <https://doi.org/10.1080/02626667.2013.821573>
- Pedro-monzonís, M., Solera, A., Ferrer, J., Andreu, J., & Estrela, T. (2016). Science of the total environment water accounting for stressed river basins based on water resources management models. *Science of the Total Environment*, 565, 181–190. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.161>
- Reinhardt, J., Liersch, S., Abdeladhim, M. A., Diallo, M., Dickens, C., Fournet, S., ... Walz, A. (2018). Systematic evaluation of scenario assessments supporting sustainable integrated natural resources management : evidence from four case studies in Africa. *Ecology and Society*, 23(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.5751/ES-09728-230105>
- Sari, D. (2016). *Penerapan manajemen aset pada Daerah Irigasi Pondok Waluh Kabupaten Jember*. Universitas Jember.
- Sechi, G. M., & Zucca, R. (2010). Drought mitigation using operative indicators in complex water systems. *Physics and Chemistry of the Earth*, 35(3–5), 195–203. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2009.12.001>
- Sechi, G. M., & Zucca, R. (2017). A Cost-Simulation approach to finding economic optimality in Leakage Reduction for Complex Supply Systems. *Water Resour Manage*. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1768-5>
- Setiawan, E. B., & Hariyanto, B. (2017). Potensi daya dukung air meteorik untuk pemenuhan kebutuhan air domestik masyarakat di Kabupaten Tulungagung. *Swara Bhumi*, IV(V), 71–76. Diambil dari <http://jurnalmahasiswa.unesa.ac.id/index.php/swara-bhumi/article/view/19090>
- Setiawan, E. B., Indarto, I., Askin, A., & A, R. U. (2019). Spatial variability of annual rainfall in East Java Regions : application of histogram and normal QQ-Plot Spatial variability of annual rainfall in East Java Regions : application of histogram and normal QQ-Plot. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/243/1/012027>

- Shiddiq, D. G. A., Indarto, Wahyuningsih, S., & Askin. (2018). Aplikasi histogram untuk analisis variabilitas temporal dan spasial hujan bulanan: Studi di Wilayah UPT PSDA di Pasuruan Jawa Timur. *Teknologi Pertanian Andalas*, 22(1), 1–12.
- Sholihah, R., Dasanto, B. D., & Hendarti. (2017). Perencanaan alokasi air pada sebagian DAS Cisadane Di Wilayah Kabupaten Dan Kota Bogor. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 7(2), 195–210.
- Sieber, J., Swartz, C., & Huber-Lee, A. (2005). *WEAP (Water Evaluation And Planning System) USER GUIDE*. Boston MA: Stockholm Environment Institute, Tellus Institute.
- Soewarno. (2015). *Klimatologi Seri Hidrologi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Stockholm Environment Institute (SEI). (2016). *WEAP Water Evaluation And Planning System Tutorial*. Stockholm: Stockholm Environment Institute.
- Sulis, A., & Sechi, G. M. (2013). Comparison of generic simulation models for water resource systems. *Environmental Modelling and Software*, 40, 214–225. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.09.012>
- Tena, T. M., Mwaanga, P., & Nguvulu, A. (2019). Hydrological modelling and water resources assessment of Chongwe River Catchment using WEAP model. *Water (Switzerland)*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/w11040839>
- Yates, D., Sieber, J., Purkey, D., & Huber-Lee, A. (2005). WEAP21—A demand-, priority-, and preference-driven water planning model Part 1: Model characteristics. *Water Int.*, 487–500.
- Zohrabi, N., Nassaj, B. N., & Shahbazi, A. (2017). Effects of Surface Irrigation Efficiency Improvement On Water Resources System Indices. *23rd International Congress on Irrigation and Drainage*, 1–16.