

# EVALUASI KETEPATAN PEMBERIAN AIR MENGGUNAKAN SISTEM MANAJEMEN OPERASI IRIGASI (SMOI) DI DAERAH IRIGASI BONDOYUDO

## *EVALUATION OF WATER DELIVERY ACCURACY USING IRRIGATION OPERATING MANAGEMENT SYSTEM (SMOI) IN BONDOYUDO IRRIGATION AREA*

Oleh:

**Dadan Rahmandani<sup>1)</sup>, Eko Winar Irianto<sup>1)</sup>, Hanhan A. Sofiyuddin<sup>1)</sup>, Susi Hidayah<sup>1)</sup>,  
Iwan Hadihardaja<sup>2)</sup>, Edy Anto Soentoro<sup>2)</sup>,**

<sup>1)</sup>Balai Litbang Irigasi, Pusat Litbang Sumber Daya Air, Badan Litbang PUPR  
Jl. Cut Metia Kotak Pos 147 Bekasi, Indonesia 17113

<sup>2)</sup>Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan  
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10, Bandung, Indonesia 40132

Komunikasi Penulis, Telp: +62-85624519241; email: dadan\_wong@yahoo.co.id

Naskah ini diterima pada 02 Maret 2018; revisi pada 03 Maret 2018;  
disetujui untuk dipublikasikan pada 05 Maret 2018

### **ABSTRACT**

*Irrigation Operation Management System (SMOI) is an irrigation reporting information system designed to automate data transfer and form reporting by utilizing the internet network. SMOI can shorten the time of reporting and facilitate the evaluation of historical data in support of decision making in an Irrigation Area. Nevertheless, this technology has not been tested on field-scale applications especially in multiple districts irrigation area. The study aimed to analyze the accuracy of SMOI calculations and the correctness of water delivery as the impact of the SMOI application. The research was conducted on the application of SMOI in Bondoyudo Irrigation Area, East Java. The analysis of the calculation accuracy is done by verifying and validating the results of SMOI calculation compared to the calculation of manual form. Analysis of water delivery accuracy is done through water balance simulation based on data in Cropping Season I and II year 2016/2017. Based on the result, the calculation workflow, data retrieval, and flow of data distribution among forms on SMOI in accordance with the provisions in PUPR 12/PRT/M/2015. The simulation results show that SMOI can improve the accuracy of water delivery to the predicted value by 40.7% in Cropping Season I and 21.8% in Cropping Season II. However, when compared with actual irrigation water needs, SMOI has not significantly to improved water delivery accuracy. This is due to the calculation of water requirements in manual form and SMOI not yet accommodating the variability of actual climatological conditions.*

**Keywords:** *accuracy, irrigation operations, modernization of irrigation, SMOI, water delivery*

### **ABSTRAK**

Sistem Manajemen Operasi Irigasi (SMOI) adalah sistem informasi pelaporan operasi irigasi yang didesain untuk melakukan pengiriman data dan blangko operasi irigasi secara otomatis dengan memanfaatkan jaringan internet. SMOI dapat mempersingkat waktu pelaporan dan mempermudah evaluasi data historis dalam menunjang pengambilan keputusan di suatu Daerah Irigasi (DI). Namun demikian, teknologi ini belum teruji pada aplikasi skala lapangan terutama di DI lintas kabupaten. Penelitian bertujuan untuk menganalisis ketepatan perhitungan SMOI dan ketepatan pemberian air sebagai dampak dari aplikasi SMOI. Penelitian dilakukan pada pengaplikasian SMOI di DI Bondoyudo, Jawa Timur. Analisis ketepatan perhitungan dilakukan dengan memverifikasi dan memvalidasi hasil perhitungan SMOI dibandingkan hasil perhitungan blangko manual. Analisis ketepatan pemberian air dilakukan melalui simulasi neraca air berdasarkan data pada Musim Tanam (MT) I dan II tahun 2016/2017. Berdasarkan hasil penelitian, alur kerja perhitungan, pengambilan data, dan alur distribusi data antar blangko operasi irigasi pada SMOI sesuai dengan ketentuan dalam Permen PUPR 12/PRT/M/2015. Hasil simulasi menunjukkan bahwa SMOI dapat meningkatkan akurasi pemberian air terhadap prediksi kebutuhan air irigasi sebesar 40,7% pada MT I dan 21,8% pada MT II. Namun demikian apabila dibandingkan dengan kebutuhan air irigasi aktual, SMOI belum terlihat meningkatkan akurasi pemberian air. Hal ini disebabkan perhitungan kebutuhan air pada blangko manual dan SMOI belum mengakomodir variabilitas kondisi klimatologi aktual.

**Kata kunci:** *akurasi, modernisasi irigasi, operasi irigasi, pemberian air, SMOI*

## I. PENDAHULUAN

Modernisasi irigasi di Indonesia didefinisikan sebagai upaya mewujudkan sistem pengelolaan irigasi partisipatif yang berorientasi pada pemenuhan tingkat layanan irigasi secara efektif, efisien dan berkelanjutan dalam rangka mendukung ketahanan pangan dan air, melalui 5 (lima) pilar, yaitu: peningkatan keandalan penyediaan air, prasarana, pengelolaan irigasi, institusi pengelola, dan sumber daya manusia (Direktorat Irigasi dan Rawa, 2011).

Operasi jaringan irigasi merupakan salah satu bagian dari pilar modernisasi irigasi, yaitu pada pilar sistem pengelolaan irigasi. Tuntutan pengelolaan irigasi yang lebih aktual dalam pemenuhan kebutuhan air pada kondisi air yang terbatas perlu diatasi melalui operasi irigasi yang dilakukan secara efektif dan efisien. Selain itu, pengelolaan air irigasi perlu dilakukan secara adil dan merata sesuai dengan kebutuhan dalam jumlah dan waktunya.

Cara pelaporan dan pengumpulan data irigasi dari seluruh daerah irigasi yang dilakukan saat ini menggunakan blangko-blangko operasi irigasi sesuai dengan peraturan tentang operasi dan pemeliharaan irigasi yang telah ditetapkan (Kementerian PUPR, 2015). Pengisian blangko dilakukan secara manual pada blangko cetak terutama oleh pelaku operasi irigasi pada tingkat mantri/juru dan ranting/pengamat. Proses distribusi blangko-blangko yang sudah diakuisisi dilakukan secara berjenjang dari pengelola satu kepada pengelola lainnya. Proses pelaporan ini memerlukan waktu yang cukup lama, lebih sulit dianalisis dan lebih sulit dirunut, sehingga pengambilan keputusan pembagian air juga lebih sulit dilakukan (Balai Litbang Irigasi, 2014).

Hasil pemantauan tim modernisasi tahun 2011, pelaksanaan operasi dan pemeliharaan jaringan irigasi saat ini menunjukkan kinerja yang belum optimal dengan indikasi sebagai berikut: (1) Perhitungan neraca air kurang akurat, (2) Operasional pintu terlalu lama sehingga tidak respon terhadap perubahan yang terjadi. Disamping itu kedisiplinan operasional pintu belum optimal, (3) Air yang dialirkan ke petak sawah cenderung boros, (4) Kehilangan air akibat faktor fisik saluran dan pengelolaan masih cukup besar, (5) Rencana tata tanam tidak diimplementasikan dengan konsisten, (6) Pemeliharaan dan rehabilitasi kurang memadai dan sering terlambat pelaksanaannya,

(7) Sebagian besar petani kurang puas dengan kinerja pelayanan (Direktorat Irigasi dan Rawa, 2011).

Di sisi lain operasi irigasi yang lentur berdasarkan gerak permintaan (*demand driven*) pada suatu daerah irigasi agak sulit dilaksanakan jika tidak didukung oleh sarana pendukung dan Sumber Daya Manusia (SDM) yang cukup memadai. Sarana pendukung tersebut antara lain sistem pencatatan data klimatologi, pengumpulan data input kebutuhan air dari petak-petak tersier, cara pelaporan dan pengumpulan data, proses perhitungan perencanaan maupun pelaksanaan pembagian air, serta proses pengambilan keputusan (Balai Irigasi, 2012). Oleh karena itu, perlu penyempurnaan sistem pengelolaan irigasi untuk mendapatkan sistem operasi irigasi yang lebih efektif dan efisien.

Pada tahun 2012, aplikasi Sistem Manajemen Operasi Irigasi (SMOI) mulai dikembangkan (Balai Irigasi, 2012). Sistem ini merupakan sebuah aplikasi operasional irigasi terutama untuk membantu proses pelaporan operasi irigasi yang mengedepankan konsep *paperless* atau menggantikan peran blangko kertas dalam operasional irigasi. Teknologi SMOI ini didesain untuk mampu melakukan proses pengiriman data operasional irigasi secara otomatis dengan memanfaatkan jaringan komunikasi layanan internet (Balai Litbang Irigasi, 2014). Aplikasi pelaporan operasi irigasi ini diharapkan mampu dan cukup efektif mendukung operasi irigasi sehingga dapat membantu dan mempercepat proses komunikasi antara petani pengguna air, petugas di lapangan, dan instansi pemerintah yang menangani irigasi. Dengan demikian, operasi irigasi dapat dilakukan secara efisien untuk mendukung konsep modernisasi irigasi khususnya sistem operasi pada pilar pengelolaan irigasi.

Namun demikian, aplikasi penerapan teknologi informasi ini belum dikaji secara mendalam terutama pada aplikasi di daerah irigasi, khususnya di daerah irigasi lintas kabupaten. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan evaluasi aplikasi (SMOI) berbasis *website* di Daerah Irigasi (DI) Bondoyudo, Kabupaten Jember dan Lumajang Provinsi Jawa Timur.

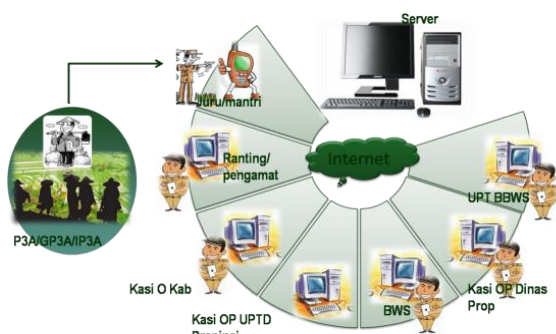
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis keakuratan perhitungan SMOI dan menganalisis ketepatan pemberian airnya pada aplikasi SMOI di DI Bondoyudo, Jawa Timur.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Sistem Manajemen Operasi Irigasi (SMOI)

SMOI dikembangkan mulai tahun 2012 berdasarkan alur kerja sesuai dengan pedoman operasi dan pemeliharaan irigasi (Balai Irigasi, 2012). SMOI didesain untuk mampu melakukan proses pengiriman data operasional irigasi secara otomatis dengan memanfaatkan jaringan komunikasi layanan internet, pengoperasian yang mudah (*user friendly*) serta dapat mengurangi pekerjaan perhitungan dan rekapitulasi data yang berulang saat dilakukan secara manual (Balai Litbang Irigasi, 2014).

Pengelola irigasi pada tingkat mantri/juru dapat mengakses aplikasi melalui perangkat komunikasi portabel yang memiliki fasilitas koneksi dengan internet. Pengelola irigasi lainnya di tingkat ranting/pengamat/UPT, Kasi operasi kabupaten, Kasi operasi UPTD propinsi/balai PSDA, BBWS/BWS dapat mengakses melalui komunikasi portabel atau komputer PC yang memiliki fasilitas koneksi dengan internet seperti skema pada Gambar 1.



Sumber : Balai Litbang Irigasi, 2014

**Gambar 1** Rancangan Sistem Pelaporan Operasi Irigasi

Penggunaan aplikasi SMOI ini memerlukan 3 sub-sistem, yaitu SDM, komputer *server*, dan alat pendukung. SDM berfungsi melakukan eksekusi terhadap *input* maupun *output* data, seperti melakukan *input* data rencana tata tanam, debit sadap tersier, debit *intake* bendung, dll. Eksekusi *output* data yaitu pengaturan pintu air irigasi dilakukan oleh SDM pengelola secara manual selama belum dilakukan otomatisasi irigasi. Komputer *server* berfungsi sebagai alat pengolah dan penyimpan data. Alat pendukung berfungsi untuk membantu *input* data operasi secara otomatis, seperti *Automatic Weather Station* (AWS) dan alat ukur debit volumetrik.

Kelebihan aplikasi SMOI dalam pelaksanaan operasi jaringan irigasi antara lain (Balai Litbang Irigasi, 2014):

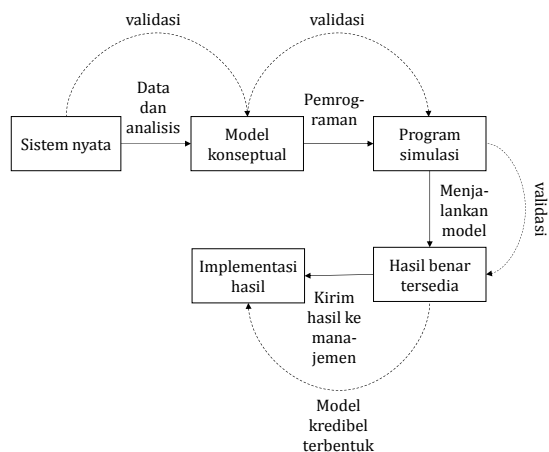
- 1) Secara otomatis menghitung atau merekap data operasi dari satu blangko ke blangko lainnya, periode pengisian operasi diset untuk periode yang lebih pendek (dari 15 harian menjadi 7 dan 3 harian) sehingga diharapkan data yang digunakan untuk perencanaan kebutuhan air untuk periode selanjutnya lebih mendekati aktual;
- 2) Progres pengisian blangko 0 juga dapat dipantau secara terbuka oleh pengelola irigasi lainnya dengan adanya fitur *userpublic* serta dapat menampilkan grafik;
- 3) Hubungan antara kebutuhan debit, debit tersedia, dan faktor K secara *time series* dan dapat diunduh.

Dibandingkan sistem informasi lainnya, pengembangan SMOI difokuskan mengakomodir kebutuhan praktis lapangan dan legalitas dalam pelaporan irigasi. Hal ini tergambar dari struktur blangko, cara perhitungan, dan alur kerja SMOI yang sepenuhnya mengadopsi blangko operasi irigasi sesuai dengan pedoman (Kementerian PUPR, 2015). SMOI belum dapat mengakomodir optimasi sumber daya air yang kompleks seperti dalam Mateos, Lopez-Cortijo, & Sagardoy (2002) atau mengintegrasikan pengukuran kondisi aktual lapangan seperti pada Navarro-Hellín, Martínez-del-Rincon, Domingo-Miguel, Soto-Valles, & Torres-Sánchez (2016). Pengembangan lanjutan SMOI masih akan terus dilakukan dengan mengintegrasikan sistem pengukuran debit volumetrik, pengukuran cuaca melalui *automatic weather station*, dan pintu air elektromekanis (Aditya, Hidayah, & Joubert, 2017). Walaupun demikian, SMOI sudah cukup memenuhi kebutuhan praktis lapangan dengan tingkat keberterimaan yang baik. Berdasarkan penelitian oleh Joubert & Prihantoko (2015), lebih dari 78% pengguna di DI Boro menyatakan bahwa SMOI memudahkan dan bermanfaat dalam pelaksanaan operasi irigasi.

### 2.2. Verifikasi dan Validasi Model

Model simulasi yang dibangun harus kredibel. Representasi kredibel sistem nyata oleh model simulasi ditunjukkan oleh verifikasi dan validasi model. Verifikasi adalah proses pemeriksaan apakah logika operasional model (program komputer) sesuai dengan logika diagram alur. Kalimat sederhananya, apakah ada kesalahan dalam program? (Hoover & Perry, 1989). Verifikasi adalah pemeriksaan apakah program komputer simulasi berjalan sesuai dengan yang diinginkan. Verifikasi memeriksa penerjemahan model simulasi konseptual (diagram alur dan asumsi) ke dalam bahasa pemrograman secara benar (Law & Kelton, 1991).

Validasi adalah proses penentuan apakah model, sebagai konseptualisasi atau abstraksi, merupakan representasi berarti dan akurat dari sistem nyata (Hoover & Perry, 1989). Validasi menentukan apakah model konseptual simulasi (sebagai tandingan program komputer) adalah representasi akurat dari sistem nyata yang sedang dimodelkan (Law & Kelton, 1991). Alur verifikasi dan validasi model terdapat pada Gambar 2.



Sumber: Law & Kelton, 1991

**Gambar 2** Relasi Verifikasi, Validasi dan Pembentukan Model Kredibel

**Tabel 1** Kriteria Verifikasi dan Validasi Model

Model	Verifikasi	Validasi
Konseptual		Apakah model mengandung semua elemen kejadian dan relasi yang sesuai?
		Apakah model dapat menjawab semua pertanyaan pemodelan?
Logika	Apakah kejadian direpresentasikan dengan benar?	Apakah model memuat semua kejadian yang ada pada model konseptual?
	Apakah rumus matematika dan relasi benar?	
Komputer atau simulasi	Apakah ukuran statistic dirumuskan dengan benar?	Apakah model memuat semua relasi yang ada pada model konseptual?
	Apakah kode komputer memuat semua aspek kode logika?	Apakah model komputer merupakan representasi valid dari sistem nyata?
	Apakah statistik dan rumus dihitung dengan benar?	Dapatkah model komputer menduplikasi kinerja sistem nyata?
	Apakah model mengandung kesalahan pengkodean?	Apakah output model mempunyai kredibilitas dengan ahli sistem dan pembuat keputusan?

Sumber: Law & Kelton, 1991

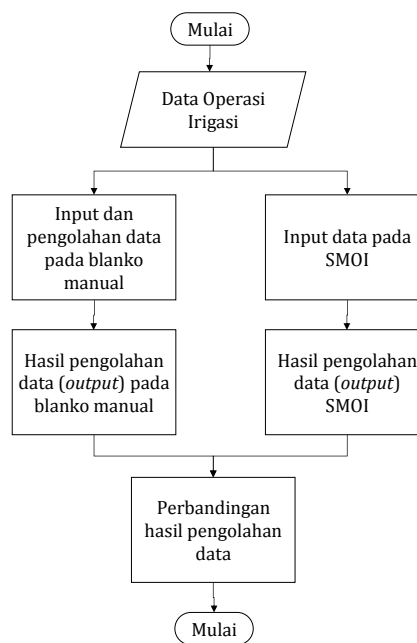
Dalam verifikasi atau validasi model, sekumpulan kriteria dibangun untuk menilai apakah diagram alur model dan logika internal adalah benar dan apakah model konseptual representasi valid dari

sistem nyata. Bersamaan dengan kriteria evaluasi model tersebut, perlu dispesifikasikan siapa yang akan mengaplikasikan kriteria dan menilai seberapa dekat kriteria itu memenuhi apa yang sebenarnya.

### III. METODOLOGI

#### 3.1. Analisis Ketepatan Perhitungan SMOI

Analisis keakuratan perhitungan SMOI pada penelitian ini dilakukan dengan cara verifikasi dan validasi pada setiap tahapan pelaksanaan pelaporan operasi irigasi. Verifikasi dilakukan dengan pendekatan model logis, yang dilakukan dengan cara uji kinerja pada setiap tahapan pelaksanaan pelaporan yang dilakukan dengan melihat *input* data serta informasi hasil dari proses perhitungan pada masing-masing blangko, khususnya blangko 05-0, 07-0, dan 09-0. Sedangkan validasi dilakukan dengan cara perbandingan *output* simulasi dengan sistem nyata. Untuk lebih jelasnya alur validasi model SMOI dijelaskan pada Gambar 3.



**Gambar 3** Alur Validasi Sistem Manajemen Operasi Irigasi

Berdasarkan pedoman dalam Kementerian PUPR (2015), perhitungan dalam blangko yang divalidasi adalah sebagai berikut:

#### 1) Blangko 05-0

Blangko ini merupakan hasil kompilasi perhitungan dari usulan luas tanam, angka-angka satuan kebutuhan air dan penetapan faktor tersier. Usulan luas tanam merupakan hasil *input* data dari Buku Catatan IP3A/GP3A. Nilai satuan kebutuhan air yang digunakan

berdasarkan nilai yang biasa digunakan di DI Bondoyudo untuk tanaman padi (pengolahan lahan 1,25 l/s/ha; pertumbuhan 0,725 l/s/ha; panen 0 l/s/ha), tebu (pengolahan lahan 1,89 l/s/ha; muda 0,36 l/s/ha; tua 0,125 l/s/ha), dan palawija (0,3 l/s/ha atau 0,2 l/s/ha). Persamaan yang digunakan untuk menghitung kebutuhan air di pintu tersier ( $Qt$ ) pada blangko 05-0:

$$KAI_{sawah} = A_{usulan} Q_{satuan} \dots\dots\dots (1)$$

$$Qt = KAI_{sawah} F_t \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

$KAI_{sawah}$  = kebutuhan air irigasi (l/s/ha)

$A_{usulan}$  = Usulan luas tanam (ha)

$Q_{satuan}$  = Satuan kebutuhan air (l/s/ha)

$Qt$  = kebutuhan air di pintu tersier (l/s)

$F_t$  = faktor tersier

## 2) Blangko 07-0

Blangko ini merupakan rencana kebutuhan air di bangunan bagi ( $Qb$ ).  $Qb$  merupakan hasil perhitungan dari kebutuhan air di pintu tersier ( $Qt$ ), kebutuhan air lain-lain ( $Ql$ ) dan debit hilang di saluran induk/sekunder ( $Qh$ ), dikurangi debit suplesi ( $Qs$ ). Kebutuhan air di bangunan bagi pada blangko 07-0 dihitung dengan rumus:

$$Qb = Qt + Ql + Qh - Qs \dots\dots\dots (3)$$

Nilai penetapan debit yang diberikan ( $Qb'$ ) merupakan hasil perhitungan dari kebutuhan air di pintu tersier ( $Qt$ ) dikalikan faktor  $K$ , ditambah kebutuhan air lain-lain ( $Ql$ ) dan debit hilang di saluran induk/sekunder ( $Qh$ ), dikurangi debit suplesi ( $Qs$ ). Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Qb' = Qt K + Ql + Qh - Qs \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

$Qb$  = kebutuhan air di bangunan bagi (l/s)

$Qt$  = kebutuhan air di pintu tersier (l/s)

$Ql$  = kebutuhan air lain-lain (l/s)

$Qh$  = debit hilang di saluran induk/sekunder (l/s)

$Qs$  = debit suplesi (l/s)

$K$  = faktor koreksi/pemerataan debit

Angka besaran faktor  $K$  diambil dari hasil perhitungan pada blangko 09-0.

## 3) Blangko 09-0

Rincian prosedur perhitungan nilai Faktor  $K$  pada blangko ini diuraikan sebagai berikut :

### a) Debit diperlukan

Debit diperlukan diambil dari blangko 07-0. Data-data bagian kebutuhan air yang dikutip adalah sebagai berikut :

- i. Total kebutuhan air di pintu tersier ( $Qt$ )
- ii. Kebutuhan lain-lain, untuk pabrik dan lain-lain ( $Ql$ )
- iii. Debit tambahan ke jaringan, yaitu suplesi ( $Qs$ )
- iv. Kebutuhan air dibendung ( $Qb$ )

### b) Debit Tersedia

Debit tersedia diambil dari blangko 08-0. Data-data ketersediaan air yang dikutip sebagai berikut :

- i. Rata-rata setengah bulanan
- ii. Rata-rata 5 harian terakhir
- iii. Data pencatatan debit tanggal 15 atau 30/31 untuk masing-masing periode.

Hasil-hasil tersebut dibandingkan lalu ditentukan debit yang paling realistis pada periode itu sebagai nilai debit tersedia ( $Qrs$ ).

### c) Debit dialirkan

Dalam bagian ini terdaftar 2 (dua) data yaitu  $Q$  tersedia ( $Qrs$ ) dan  $Q$  diperlukan ( $Qb$ ). Debit yang dialirkan pada bangunan pengambilan ( $Qa$ ) ditentukan sebagai  $Qrs$  bila  $Qrs < Qb$  atau sebagai  $Qb$  bila  $Qrs \geq Qb$ .

Apabila nilai  $Qa$  berada diantara 100% dan 70% kapasitas saluran maka pemberian/pembagian air dilakukan secara terus menerus. Apabila debit di saluran lebih kecil daripada 70% kapasitas saluran, maka pemberian air dilaksanakan secara giliran.

### d) Perhitungan Faktor $K$

Pada blangko 09-0, faktor  $K$  diperhitungan dengan rumus:

$$K = \frac{Qa}{Qb} \dots\dots\dots (5)$$

Apabila hasil perhitungan didapat nilai  $> 1$ , maka nilai faktor  $K$  ditetapkan = 1, namun apabila hasil perhitungan  $< 1$ , maka nilai tersebut menjadi faktor koreksi untuk perhitungan penetapan pemberian air pada blangko 07-0.

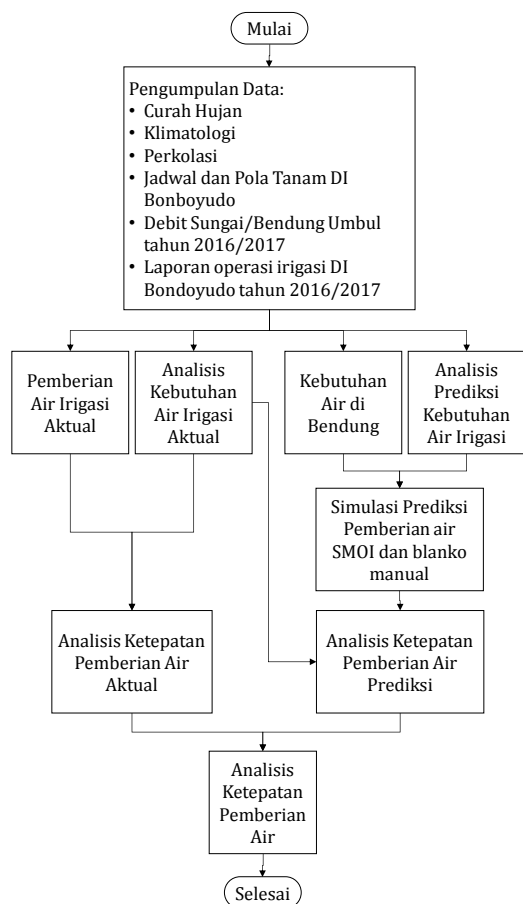
## 3.2. Simulasi Ketepatan Pemberian Air

Analisis ketepatan pemberian air dilakukan melalui simulasi yang disusun berdasarkan data-data pemberian air aktual pada musim tanam tahun 2016/2017 dan prediksi pemberian air irigasi di DI Bondoyudo sebagai dampak dari aplikasi SMOI. Pada simulasi ini, rentang waktu

pemberian air irigasi SMOI berpedoman pada hasil kajian efektivitas waktu pelaporan operasi irigasi yang telah diperhitungkan sebelumnya, yaitu blangko manual 10 harian dan SMOI 3 harian. Penetapan rentang waktu ini berasumsi bahwa kondisi SDM dan infrastruktur di DI Bondoyudo mendukung untuk aplikasi pemberian air lebih singkat.

Data yang dibutuhkan dalam simulasi ini adalah data sekunder, yang meliputi data klimatologi (evaporasi dan curah hujan), debit masuk di intake bendung, dan jadwal serta pola tanam yang berlaku di DI Bondoyudo. Periode analisis adalah pada Musim Tanam I (MT-I) dan Musim Tanam II (MT-II) tahun 2016/2017.

Dalam menganalisis ketepatan pemberian air diperlukan beberapa analisis, diantaranya adalah ketersediaan air di Bendung Umbul, kebutuhan air, dan analisis neraca air. Ketersediaan air di Bendung Umbul dianalisis dari data blangko 0-8 (pencatatan debit di bangunan pengambilan/sungai), sedangkan kebutuhan air didasarkan pada kebutuhan air irigasi pada MT-I dan MT-II tahun 2016/2017. Gambar 4 menampilkan bagan alir simulasi ketepatan pemberian air.



**Gambar 4** Bagan Alir Simulasi Ketepatan Pemberian Air

Pada penelitian ini, penentuan kebutuhan air didasarkan pada neraca air pada lahan untuk satu unit luasan dalam periode tahunan. Persamaan neraca air yang digunakan berpedoman pada standar perencanaan irigasi (Direktorat Irigasi dan Rawa, 2013), sebagai berikut:

- 1) Tahap Pengolahan Tanah :  
 $NFR = ETC + P - Re + PL$ ..... (6)
- 2) Tahap Pertumbuhan  
 $NFR = ETC + P - Re$  .....(7)
- 3) Tahap Penggantian lapisan air  
 $NFR = ETC + P - Re + WLR$ .....(8)

Keterangan:

- $NFR$  = Net Field Requirement(mm/hari)
- $ETC$  = Evaporasi konsumtif(mm/hari)
- $P$  = Perkolasi(mm/hari)
- $Re$  = curah hujan efektif(mm/hari)
- $PL$  = kebutuhan air untuk penyiapan lahan(mm/hari)
- $WLR$  = Water Level Replacement(mm/hari)

Data klimatologi dan curah hujan yang digunakan untuk perhitungan kebutuhan air irigasi merupakan data yang terjadi di wilayah DI Bondoyudo selama musim tanam 2016/2017. Data yang digunakan untuk perhitungan dugaan kebutuhan air sebagai dasar untuk simulasi pemberian air pada SMOI adalah data historis pada 10 tahun sebelumnya. Data historis curah hujan tersebut direpresentasikan sebagai hujan andalan ( $R_{80}$ ).

Hasil perhitungan kemudian dibandingkan dan dianalisis terhadap penyimpangan yang terjadi (penyimpangan absolut dan standar deviasinya). Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$AE_i = |Q_{x_i} - Q_{y_i}| \dots\dots\dots(9)$$

$$s = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n AE_i^2 - (\sum_{i=1}^n AE_i)^2}{n(n-1)}} \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan:

- $AE_i$  = nilai penyimpangan absolut data ke - i
- $Q_{x_i}, Q_{y_i}$  = nilai debit yang dibandingkan
- $s$  = standar deviasi
- $n$  = jumlah data

Selain dianalisis penyimpangan, untuk mengetahui kecukupan pemberian air yang terjadi, hasil perhitungan kemudian dianalisis terhadap rasio kinerja pemberian air. Rasio kinerja pemberian air diketahui berdasarkan parameter *Delivery Performance Ratio* (DPR) dengan metode yang digunakan (Bos, Burton, & Molden, 2005), yakni membandingkan debit yang dikehendaki dengan debit aktual/debit yang diberikan.

Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$DPR = \frac{Q_a}{Q_k} \dots\dots\dots (11)$$

Keterangan:

$Q_a$  = debit aktual/debit yang diberikan ( $m^3/s$ )  
 $Q_k$  = debit yang dikehendaki ( $m^3/s$ )

DPR dinyatakan cukup baik bila berkisar di antara 0,9–1,15, dinyatakan berlebih apabila lebih dari 1,15 dan dinyatakan kurang apabila kurang dari 0,9.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1. Analisis Ketepatan Perhitungan SMOI

Hasil pengolahan SMOI pada blangko 05-0, 07-0, dan 09-0 terdapat pada Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7. Nilai pada gambar ini divalidasi

dengan perhitungan manual pada Tabel 2, dan Tabel 3.

Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa perhitungan SMOI valid dan sesuai dengan perhitungan manual. Pada Blangko 05-0, nilai yang didapatkan sama. Pada blangko 07-0, terdapat sedikit perbedaan antara perhitungan SMOI dengan hasil perhitungan manual. Hal tersebut dikarenakan pada SMOI diset metode pembulatan angka untuk nilai debit < 0,5 l/s dibulatkan ke bawah dan untuk debit > 0,5 l/s dibulatkan ke atas. Namun demikian, hasil pembulatan tersebut tidak terlalu berpengaruh terhadap perhitungan kebutuhan dan penetapan pemberian air, mengingat nilai debit yang cukup besar. Pada blangko 09-0, tidak terjadi kekurangan air ( $Q_{rs} > Q_b$ ). Dengan demikian, nilai faktor  $K$  adalah 1 seperti hasil pada Gambar 7.

BLANGKO 05-0

**RENCANA KEBUTUHAN AIR DI PINTU PENGAMBILAN**

Daerah irigasi : Bondoyudo  
 No.Kode irigasi : 35090385  
 Total Luas Sawah Irigasi : 11.030  
 Kabupaten : Jember  
 Bagian Pelaks.Kegiatan : UPT SDA Wilayah Gumukmas

Perioda Masa Tanam: thn 2016/2017 - MT1 Bulan/thn 10/2017 Periode ke-1

No	Uraian / Bab	Satuan keb Air di Sawah (l/det/ha)		Mantri/Juru Purwoasri		Mantri/Juru Wonorejo		Mantri/Juru Sukareno	
		MT1	MT2/MT3	Usulan Luas Tanam (ha)	Keb.Air di Sawah (l/det)	Usulan Luas Tanam (ha)	Keb.Air di Sawah (l/det)	Usulan Luas Tanam (ha)	Keb.Air di Sawah (l/det)
				3.1	3.2	4	5(3x4)	6	7(3x6)
1.	Padi Rendeng/Padi Gadu Izin								
	a) Pengolahan tanah + Persemaian	1.25		922.00	1152.50	627.00	783.75	90.00	112.50
	b) Pertumbuhan / Pemasakan	0.725		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	c) Panen	0.000		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.	Tebu								
	a) Pengolahan tanah + Persemaian	1.85		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	b) Tebu Muda (MT.1)	0.36		31.00	11.16	138.00	49.68	17.00	6.12
	c) Tebu Tua (MT.2)		0.125	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.	Palawija								
	a) Yang perlu banyak air		0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	b) Yang perlu sedikit air		0.2	30.00	6.00	10.00	2.00	554.00	110.80
4.	Gadu tanpa izin			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5.	Lainnya			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.	Jumlah di Sawah				1164.10		833.43		118.62
7.	Faktor tersier				1.00		1.00		1.00
8.	Kebutuhan air di pintu tersier				1164.10		833.43		118.62
9.	Kerusakan Tanaman (Banjir/Kering)				0.00		0.00		0.00
10.	Tanda tangan ketua IP3A/GP3A								

Simpan
Tampilan Laporan

Sumber : Output SMOI

Gambar 5 Output SMOI pada Pelaporan Blangko 05-0

**RENCANA KEBUTUHAN AIR DI JARINGAN UTAMA  
DAN PENETAPAN PEMBERIAN AIR**

**BLANGKO 07-O**

Daerah irigasi : BONDYOYUDO      Daerah Ranting/Pengamat : Gumukmas  
 No.Kode irigasi : 35090385      Luas Areal Kerja Mantri : 2.271  
 Total Luas Sawah Irigasi : 11.030      Jumlah Petak tersier : 3  
 Kabupaten : JEMBER      Periode Pemberian Air : 10/2017, Periode ke-1  
 Bagian Pelaks.Kegiatan : UPT SDA Wil. Gumukmas

No	Nama Wilayah Kerja Mantri/Juru	Luas sawah irigasi (ha)	Realisasi debit pada periode sebelumnya (l/det)		Usulan luas tanam periode ini (l/det)	Rencana kebutuhan air periode pembagian air tersebut (l/det)					Debit diberikan (l/det)
			Debit Rata-rata	Debit akhir periode		Keb.air di Pintu tersier (Qt)	Keb.air Lain-lain (Ql)	Q Hilang di sal.Induk/Sek (Qh)	Debit Suplesi (Qs)	Keb.air di Bang.Bagi (Qb)	
1	Purwoasri	983.00	0	0	983.00	1164.10	0	139	0	1303	1303
2	Wonorejo	775.00	0	0	775.00	833.43	0	101	0	934	934
3	Sukareno	661.00	0	0	661.00	118.62	0	14	0	133	133
[K=1.00]						2116.15	0	254	0	2370	2370

10 Oktober 2017  
Ranting/Pengamat  
Gumukmas  
Tanda Tangan

Nama: Yono  
NIP: 19620201 199203 1 013

Sumber : Output SMOI

Gambar 6 Output SMOI pada Pelaporan Blangko 07-0

**BLANGKO 09-O**

**PERHITUNGAN FAKTOR - K**

Daerah irigasi : BONDYOYUDO      Daerah Ranting/Pengamat : Gumukmas  
 No.Kode irigasi : 35090385      Luas Areal Kerja Mantri : 2.271  
 Total Luas Sawah Irigasi : 11030      Jumlah Petak tersier : 3  
 Kabupaten : Jember      Periode Pemberian Air : 10/2017, Periode ke-1  
 Bagian Pelaks.Kegiatan : UPT SDA Wil.Gumukmas

**1. Debit diperlukan (dari Blanko 07-O)**

No	Kode	Debit	Jumlah (l/det)
1.1	Qt	Di pintu tersier	2116
1.2	Ql	Kep. Lain-lain	0
1.3	Qh	Hilang	254
Jumlah			2370
1.4	Qs	Suplesi	0
1.5	Qb	Di Bendung (a)	2370

**2. Debit Tersedia (dari Blanko 08-O)**

No	Q rata-rata	
	Periode/Tgl	Jumlah (l/dtk) (b)
1	Periode ke 3 Bln.09/Thn.2017	4756
2	Akhir periode (tgl: 31)	12783
3	Rata-rata 5 hari terakhir (tgl: 27 s.d 31)	8134

**3. Debit dialirkan**

Neraca		Debit dialirkan (Qa)
Debit (l/dtk)		
Tersedia (Qra) (b)	4756 atau 12783 atau 8134	2370
Diperlukan (Qb) (a)	2370	

**4. Perhitungan Faktor K**

No	Kode	Debit (l/det)	Total debit (l/det)
4.1	Qa	2370	2370
4.2	Qs	0	(c)
4.3	Ql	0	254
4.4	Qh	254	(d)
4.5	Selisih (c) - (d)		2116
4.6	Qt		2116
Faktor K = 4.5 / 4.6			1.00

Sumber : Output SMOI

Gambar 7 Output SMOI pada Pelaporan Blangko 09-0



**Tabel 2** Hasil Validasi SMOI pada Perhitungan Blangko 05-0

No	Nama Wilayah Kerja Mantri/Juru	Luas Tanam pada Periode Ini			Kebutuhan Air di Sawah		Faktor Tersier	Kebutuhan air di Pintu Tersier (l/s)	
		Pengolahan Tanah/Persemaian	Pertumbuhan/Pemasakan	Panen	Perhitungan	SMOI		Perhitungan	SMOI
1	Purwosari	983	0,00	0,00	1.164,1	1.164,1	1,00	1.164,10	1.164,10
2	Wonorejo	775	0,00	0,00	833,43	833,43	1,00	833,43	833,43
3	Sukareno	661	0,00	0,00	118,62	118,62	1,00	118,62	118,62

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 3** Hasil Validasi SMOI pada Perhitungan Blangko 07-0

No	Nama Wil. Kerja Mantri/Juru	Rencana Kebutuhan Air Periode Pembagian Air Tersebut (l/s)				Kebutuhan Air di Bangunan Bagi (l/s)		Debit Diberikan (l/s)	
		Keb. Air di pintu tersier (Qt)	Keb. Air Lain-lain (Ql)	Q Hilang di Sal. Induk/Sek. (Qh)	Debit Suplesi (Qs)	Perhitungan	SMOI	Perhitungan	SMOI
1	Purwosari	1.164,1	0,00	139,00	0,00	1.303,10	1303	1.303,10	1.303
2	Wonorejo	833,43	0,00	101,00	0,00	934,43	934	934,43	934
3	Sukareno	118,62	0,00	14,00	0,00	132,62	133	132,62	133

Sumber: Hasil Perhitungan

#### 4.2. Simulasi Ketepatan Pemberian Air SMOI

Hasil analisis simulasi pemberian air terdapat pada Gambar 8 dan Gambar 9. Berdasarkan hasil tersebut, kebutuhan air aktual berfluktuatif baik pada MT-I maupun MT-II. Ketersediaan air di Bendung Umbul rata-rata berada diatas kebutuhan air irigasi aktual. Hal ini menunjukkan bahwa ketersediaan air di Bendung Umbul pada musim tanam 2016/2017 rata-rata dapat memenuhi kebutuhan air irigasi di DI Bondoyudo selama musim tanam.

Bedasarkan hasil simulasi pemberian air tersebut juga dapat diketahui bahwa terjadi perbedaan antara pemberian air 10 harian dan SMOI (3 harian). Berdasarkan Gambar tersebut terlihat bahwa secara umum pemberian air 3 harian lebih mendekati prediksi kebutuhan air irigasi. Hal tersebut diperkuat dengan hasil analisis rata-rata ketidaktepatan pemberian air (Tabel 4) pada kedua metode pemberian air.

**Tabel 4** Rata-rata Penyimpangan Pemberian Air Irigasi terhadap Prediksi Kebutuhan Air Irigasi

No	Pemberian Air Irigasi	Rata-rata Penyimpangan Absolut Pemberian Air terhadap Prediksi Keb. Air (l/s)	
		MT-I	MT-II
1	10 harian	1,09±1,10	0,47±0,39
2	SMOI (3 harian)	0,62±0,65	0,33±0,29

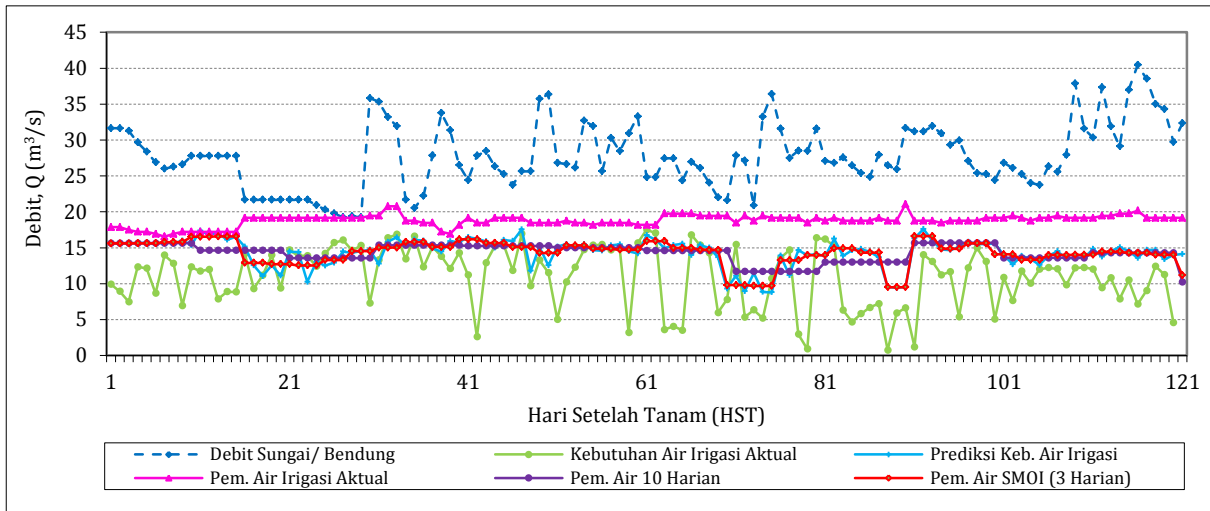
Sumber: Hasil Analisis

Berdasarkan Tabel 4, penyimpangan pemberian air SMOI (3 harian) lebih baik dibanding dengan pemberian air 10 harian, baik pada MT-I maupun MT-II. Pada MT-I rata-rata penyimpangan absolut pemberian air 10 harian sebesar  $1,09 \pm 1,10$  l/s

dapat direduksi menjadi  $0,62 \pm 0,65$  l/s dan MT-II sebesar  $0,47 \pm 0,39$  l/s dapat direduksi menjadi  $0,33 \pm 0,29$  l/s. Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa pemberian air SMOI secara teoritis dapat meningkatkan akurasi pemberian air terhadap prediksi kebutuhan air irigasi sebesar 40,7 % pada MT-I dan 21,8% pada MT-II dibanding sistem manual (10 harian). Hal ini membuktikan bahwa pemberian lebih singkat (3 harian) dapat meningkatkan keakuratan pemberian air di DI Bondoyudo.

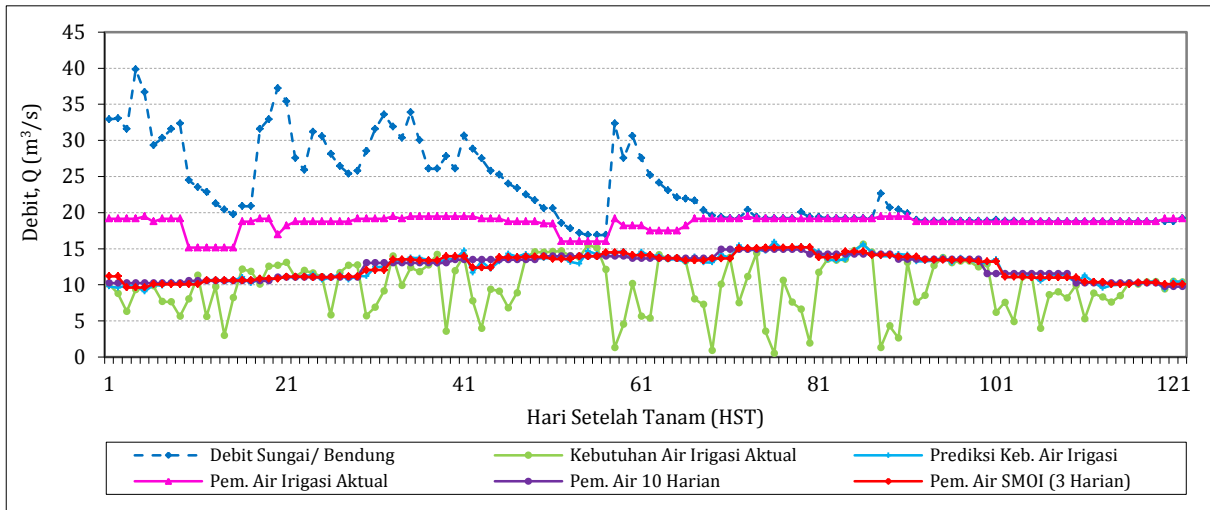
Namun demikian, apabila dilihat dari penyimpangan terhadap kebutuhan air irigasi aktual di lapangan, pemberian SMOI (3 harian) dan 10 harian baik pada MT-I maupun MT-II, cenderung berada di atas dari kebutuhan air aktual. Begitupula dengan hasil analisis ketepatan pemberian air (Tabel 5) pada MT-I dan MT-II diketahui bahwa ketidaktepatan pemberian air 10 harian dengan SMOI (3 harian) belum menunjukkan perbedaan yang signifikan.

Hal tersebut disebabkan data dasar yang digunakan untuk menduga dan menetapkan pemberian air baik pada pemberian air 10 harian maupun 3 harian (SMOI). Data yang digunakan masih menggunakan acuan data dugaan klimatologi yang disajikan dalam rentang waktu cukup lebar ( $\frac{1}{2}$  bulanan) sehingga fluktuasinya relatif kecil dan tidak dapat mengakomodir fluktuasi data harian. Berdasarkan Tabel 5, dapat diketahui bahwa rata-rata penyimpangan pemberian air terhadap kebutuhan air aktual sangat besar ( $3,09 \pm 3,54$  s.d.  $4,13 \pm 3,30$ ), baik pada 10 harian maupun SMOI (3 harian). Hal ini mengindikasikan bahwa kedua pemberian air tersebut masih belum efektif dan efisien.



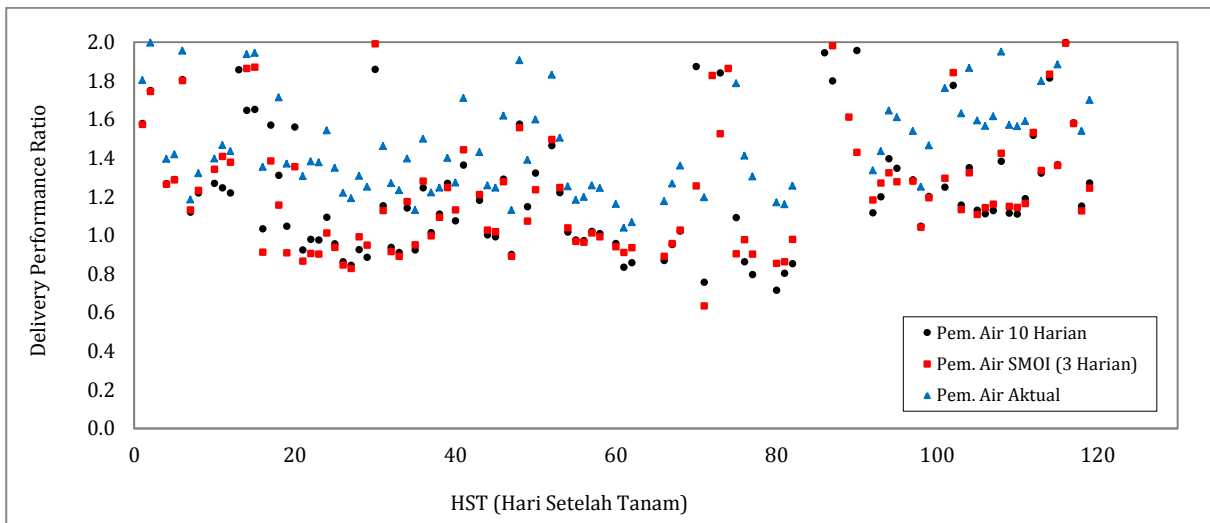
Sumber : Hasil Analisis

**Gambar 8** Hasil Simulasi Ketepatan Pemberian Air Musim Tanam I (MT-I)



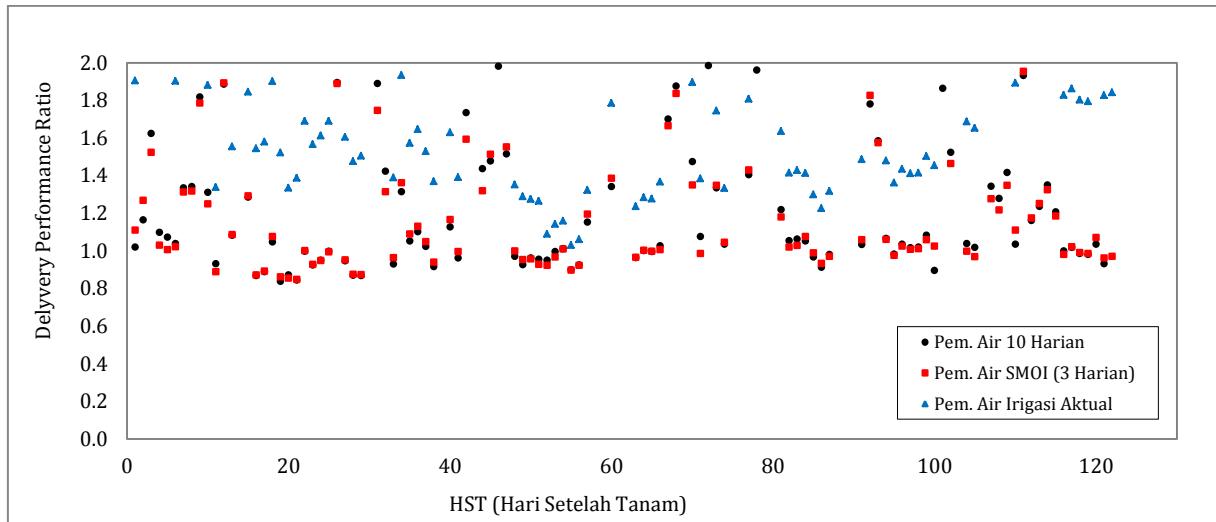
Sumber : Hasil Analisis

**Gambar 9** Hasil Simulasi Ketepatan Pemberian Air Musim Tanam II (MT-II)



Sumber : Hasil Analisis

**Gambar 10** Analisis *Delivery Performance Ratio* (MT-I)



Sumber : Hasil Analisis

**Gambar 11** Analisis *Delivery Performance Ratio* (MT-II)

**Tabel 5** Rata-rata Ketidaktepatan Pemberian Air Irigasi Terhadap Kebutuhan Air Irigasi Aktual

No	Pemberian Air Irigasi	Rata-rata Penyimpangan Absolut Pemberian Air terhadap Keb. Air Aktual (l/s)	
		MT-I	MT-II
1	10 harian	4,13±3,30	3,10±3,56
2	SMOI (3 harian)	4,08±3,46	3,09±3,54

Sumber : Hasil Analisis

Hal tersebut selaras dengan hasil analisis nilai rata-rata DPR pada masing-masing musim tanam, baik pada pemberian air aktual maupun hasil simulasi menunjukkan nilai  $DPR > 1,15$ . Menurut (Bos *et al.*, 2005), nilai  $DPR > 1,15$  dapat dikategorikan berlebih. Artinya, pemberian air aktual dan hasil simulasi sangat berpotensi memberikan air dalam volume melebihi dari kebutuhan aktualnya (rentan terjadi pemborosan). Gambar 10 menyajikan analisis DPR pada MT-I dan Gambar 11 menyajikan analisis DPR pada MT-II.

Berdasarkan Gambar 10 dan Gambar 11 terlihat bahwa nilai DPR pemberian air 10 harian dan SMOI tersebar diantara rentang 0,9 – 1,15 dan rentang  $> 1,15$ . Hasil ini sangat terkait dengan metoda pendugaan/prediksi kebutuhan air irigasi yang dilakukan. Seperti kita ketahui bahwa kebutuhan air irigasi selama ini ditetapkan sebelum masa tanam dimulai berdasarkan prediksi faktor pengolahan tanah, perkolasi, efisiensi irigasi, koefisien tanaman, klimatologi terutama hujan (hujan andalan) dan evaporasi. Prediksi klimatologi selama ini berpedoman pada data-data tahun-tahun sebelumnya. Sementara disisi lain kondisi klimatologi aktual menunjukkan kecenderungan yang berubah-ubah akibat pengaruh perubahan iklim dan variabilitas

cuaca lokal. Berdasarkan kondisi tersebut nilai prediksi kebutuhan air yang ditetapkan pada sebelum masa tanam dimulai tersebut dapat melebihi, maupun kurang dari kebutuhan air nyata.

Berdasarkan hal tersebut, maka diperlukan beberapa perbaikan untuk pengembangan aplikasi SMOI ke depan, terutama pada perhitungan dan penetapan pemberian air pada blangko 05-0. Perhitungan dan penetapan kebutuhan air pada blangko 05-0 harus diperhitungkan berdasarkan perkembangan kondisi cuaca aktual. Salah satu cara yang dapat dilakukan dengan modul perhitungan satuan kebutuhan air yang dapat menghitung kebutuhan air sesuai dengan perkembangan kondisinya di lapangan. Modul ini dapat diset secara manual ataupun diintegrasikan dengan sistem telemetri ataupun peramalan cuaca. Peramalan cuaca dapat meningkatkan antisipasi terhadap fluktuasi kondisi kebutuhan air (Perera, Western, George, & Nawarathna, 2015). Hal ini pada akhirnya dapat meningkatkan efektifitas penggunaan air (Mishra, Siderius, Aberson, Van der Ploeg, & Froebrich, 2013).

Selain itu dengan melihat berbagai permasalahan dalam aplikasi SMOI di lapangan terutama pada keterbatasan SDM baik dari segi kuantitas maupun kualitas, aplikasi SMOI kedepan perlu dirancang dan dikembangkan terintegrasi dengan instrumen otomatisasi irigasi. Instrumen otomatisasi yang dimaksud adalah mulai dari input data (klimatologi, debit, kondisi air di lahan dan lain-lain), olah data sampai operasi pintu (Aditya *et al.*, 2017). Dengan demikian penerapan SMOI bukan hanya dapat mempercepat pelaporan operasi irigasi saja, melainkan dapat meningkatkan efektifitas dan efisiensi pemberian

air serta mengatasi keterbatasan SDM yang selama ini terjadi hampir di seluruh DI.

## V. KESIMPULAN

Alur kerja perhitungan, pengambilan data, dan alur distribusi data antar blangko operasi irigasi pada SMOI sesuai dengan ketentuan dalam Permen PUPR 12/PRT/M/2015. Hal ini terlihat dari hasil verifikasi serta validasi dengan membandingkan hasil perhitungan blangko manual dan SMOI. Perbedaan kecil hanya diakibatkan oleh pembulatan dalam SMOI.

Berdasarkan hasil simulasi ketepatan pemberian air di DI Bondoyudo pada musim tanam 2016/2017, diketahui bahwa pemberian air SMOI (3 harian) dapat meningkatkan akurasi pemberian air terhadap prediksi kebutuhan air irigasi sebesar 40,7% pada MT-1 dan 21,8% pada MT-2. Namun demikian, pemberian air SMOI belum dapat meningkatkan akurasi pemberian air terhadap kebutuhan air irigasi aktual, hal ini disebabkan evaluasi kebutuhan air pada blangko 05-0 belum diperhitungkan berdasarkan perkembangan klimatologi aktual. Pengembangan lanjutan dapat dilakukan dengan mengintegrasikan pendugaan hujan dan cuaca dan sistem otomatisasi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kepala Balai Litbang Irigasi yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Kepala Dinas Bina Marga dan Sumber Daya Air Kabupaten Jember dan Kepala UPT PSDA Kabupaten Lumajang yang telah memberikan akses data operasi dan pemeliharaan DI Bondoyudo.

## DAFTAR PUSTAKA

Aditya, P., Hidayah, S., & Joubert, M. D. (2017). Pengembangan Teknologi Monitoring dan Kontrol Jarak Jauh dalam Operasi Irigasi. Dipresentasikan di Kongres Rapat Anggota Tahunan dan Seminar Nasional INACID, Jambi, 10-11 Maret 2017.

Balai Irigasi. (2012). *Laporan Akhir Kegiatan Pengembangan Modernisasi Irigasi*. Bekasi: Balai Irigasi, Puslitbang SDA, Balitbang, Kementerian PU.

Balai Litbang Irigasi. (2014). *Laporan Akhir Kegiatan Pengembangan Teknologi Irigasi Hemat Air*. Bandung: Puslitbang SDA, Balitbang, Kementerian PUPR.

Bos, M. G., Burton, M. A., & Molden, D. J. (2005). *Irrigation and Drainage Performance Assessment: Practical Guidelines*. CABI publishing.

Direktorat Irigasi dan Rawa. (2011). *Pedoman Umum Modernisasi Irigasi (Kajian Akademik)*. Jakarta: Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian PUPR.

Direktorat Irigasi dan Rawa. (2013). *Kriteria Perencanaan Irigasi (KP-01) - Bagian Perencanaan*. Jakarta: Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum.

Hoover, S. V., & Perry, R. F. (1989). *Simulation: A Problem-solving Approach*. Boston: Addison-Wesley.

Joubert, M. D., & Prihantoko, A. (2015). Analisis keberterimaan pengguna terhadap aplikasi Sistem Manajemen Operasi Irigasi menggunakan Technology Acceptance Model (Studi Kasus Daerah Irigasi Boro, Purworejo). *Jurnal Irigasi*, 10(1), 11-20.

Kementerian PUPR. (2015). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 12/PRT/M/2015 tentang Eksploitasi dan Pemeliharaan Jaringan Irigasi*.

Law, A. M., & Kelton, W. D. (1991). *Simulation Modeling and Analysis*. New York: McGraw-Hill.

Mateos, L., Lopez-Cortijo, I., & Sagardoy, J. A. (2002). SIMIS: the FAO decision support system for irrigation scheme management. *Agricultural Water Management*, 56(3), 193-206.

Mishra, A., Siderius, C., Aberson, K., Van der Ploeg, M., & Froebrich, J. (2013). Short-term rainfall forecasts as a soft adaptation to climate change in irrigation management in North-East India. *Agricultural Water Management*, 127, 97-106.

Navarro-Hellín, H., Martínez-del-Rincon, J., Domingo-Miguel, R., Soto-Valles, F., & Torres-Sánchez, R. (2016). A decision support system for managing irrigation in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 124, 121-131.

Perera, K. C., Western, A. W., George, B., & Nawarathna, B. (2015). Multivariate time series modeling of short-term system scale irrigation demand. *Journal of Hydrology*, 531, 1003-1019.