



PENINGKATAN EFISIENSI APLIKASI AIR PADA PETAKAN SAWAH DENGAN PENERAPAN IRIGASI EVAPORATIF (KAJIAN TEORITIS)

INCREASING WATER APPLICATION EFFICIENCY AT PADDY FIELD PLOT WITH APPLICATION OF EVAPORATIVE IRRIGATION (THEORETICAL STUDY)

Oleh:

Ardiansyah¹⁾✉, Budi Indra Setiawan²⁾, Chusnul Arif²⁾, Satyanto Krido Saptomo²⁾

¹⁾Departemen Teknik Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman
Jl. Dr. Soeparno, Karangwangkal, Kampus Teknologi Pertanian, Purwokerto 53123

²⁾Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Indonesia

Korespondensi Penulis, email: ✉ardi.plj@gmail.com

Naskah ini diterima pada 16 Desember 2018; revisi pada 03 Juli 2019;
disetujui untuk dipublikasikan pada 29 Juli 2019

ABSTRACT

Increased awareness of precision agriculture in water management, requires various ideas and methods for its application in the fields. One idea that can be categorized into precision farming as well as appropriate technology, is evaporative irrigation. Evaporative irrigation is an idea to control the provision of irrigation water based on the direct response of plant water needs, namely evapotranspiration. The objectives of this study were to: (1) examine the theoretical aspects of the evaporative irrigation to be applied to plots of rice fields in a plot of plots with irrigation units, (2) laying out design principles for evaporative irrigation valve closures. The results showed that, theoretically, a controller pipe was needed which would be an indicator for thick water in the plot of rice fields. The pipe controller regulates the opening of the irrigation lid to the plot based on the float-ballast principle. The design principle is carried out by simulating the reduction in the controller water level of the controller which illustrates the decrease in thick water plots. Water depth that is still tolerated for rice growth will be the limit for the provision of irrigation water to the plots. Amount of irrigation water provided is equal to the value of plant water needs in the ongoing rice growth phase. One example of the design of the controller pipe water level to start and stop irrigation is at 117.8 mm water level and 300 mm respectively. The total water needs of one crop-season is calculated to be 625 mm. With the application of evaporative irrigation, the initial conditions of sufficient water do not require the provision of irrigation water until the 31st day. Irrigation water application after that, until harvesting, requires only 477 mm. Giving this water follows the plant water requirements calculated on a day-to-day basis.

Keywords: *evaporative irrigation, controller pipe, crop water requirement, water balance, plot channel*

ABSTRAK

Meningkatnya kesadaran akan pentingnya pengelolaan air pertanian yang presisi, membutuhkan berbagai ide dan metode untuk penerapannya di sawah. Salah satu ide yang bisa dikategorikan ke dalam pertanian presisi sekaligus teknologi tepat guna, adalah irigasi evaporatif. *Evaporative irrigation* atau irigasi evaporatif adalah ide untuk mengendalikan pemberian air irigasi berdasarkan respon langsung kebutuhan air tanaman, yaitu evapotranspirasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk: (1) mengkaji aspek teoritis dari irigasi evaporatif untuk diterapkan ke petakan-petakan sawah dalam satu hamparan petakan dengan kesatuan irigasi, (2) meletakkan prinsip-prinsip desain untuk pembukaan-penutupan katup irigasi evaporatif. Hasil menunjukkan, secara teoritis, diperlukan pipa pengendali yang akan menjadi indikator bagi tebal air pada petakan sawah. Pipa kontroler mengendalikan buka tutup irigasi ke petakan berdasarkan prinsip pelampung-pemberat. Prinsip perancangan dilakukan dengan mensimulasikan penurunan muka air pipa kontroler yang menggambarkan penurunan tebal air petakan. Tebal air yang masih ditolerir untuk pertumbuhan padi menjadi batas bagi pemberian air irigasi ke petakan. Jumlah air irigasi yang diberikan adalah sebesar nilai kebutuhan air tanaman pada fase pertumbuhan padi yang sedang berlangsung. Salah satu contoh perancangan ketinggian air pipa kontroler untuk memulai dan menghentikan irigasi adalah pada ketinggian air 117.8 mm dan 300 mm. Total kebutuhan air tanaman satu musim tanam terhitung sebesar 625 mm. Dengan penerapan irigasi evaporatif, kondisi awal tanah yang cukup air tidak memerlukan pemberian air irigasi hingga hari ke-31. Pemberian air irigasi setelahnya, hingga panen, hanya memerlukan sebesar 477 mm. Pemberian air ini mengikuti kebutuhan air tanaman yang dihitung dengan basis *day-to-day*.

Kata kunci: *irigasi evaporatif, pipa kontroler, kebutuhan air tanaman, kesetimbangan air, saluran petakan*

I. PENDAHULUAN

Pemenuhan kebutuhan air pada tingkat petak tersier selama ini belum sepenuhnya dilakukan secara presisi. Pemberian air irigasi dari saluran tersier biasanya diberikan berdasarkan rencana tata tanam. Pada pelaksanaannya, ada beberapa penyesuaian yang harus dilakukan petani terkait pembagian air. Akibatnya alokasi air yang diberikan menjadi berlebih. Hal ini akan menurunkan produktivitas air, karena untuk memproduksi tiap kilogram gabah, air yang diberikan lebih banyak dari yang seharusnya.

Hingga saat ini, penjadwalan irigasi biasanya berdasarkan pada kadar air tanah, atau perhitungan deplesi air, belum ada gagasan untuk memberikan jumlah air yang tepat pada setiap petak. Penggunaan indeks stress air tanaman *Crop Water Stress Index (CWSI)* sebagai dasar penjadwalan juga diajukan oleh O'Shaughnessy, Evett, Colaizzi, & Howell (2012). Gagasan *precision farming* (pertanian presisi) biasanya selalu berkaitan dengan otomatisasi irigasi yang memerlukan investasi peralatan otomatis dan jaringan sensor nirkabel (Setiawan, Saptomo, Sofiyuddin, & Gardjito, 2011; Romero, Muriel, García, & de la Peña, 2012; Gutiérrez, Villa-Medina, Nieto-Garibay, & Porta-Gándara, 2014). Ide tersebut membutuhkan pemasangan sensor kadar air pada petak-petak sawah, mengirimkan data secara nirkabel dari sensor pada kontroller yang terpusat, lalu menjalankan aktuator berupa katup-katup solenoid yang ada pada inlet tiap-tiap petak (Gutiérrez *et al.*, 2014; McCulloch *et al.*, 2008)

Teknologi tersebut masih terlalu mahal dan tidak ramah petani, sehingga mungkin hanya dapat diterapkan pada *farmstead* atau industri pertanian yang memiliki modal untuk investasi teknologi dan sumberdaya manusia. Pada prinsipnya, praktek pertanian presisi, tidak harus selalu memerlukan teknologi kontrol yang rumit. Prinsip pertanian presisi adalah "memberikan masukan yang tepat, pada tempat yang tepat, pada waktu yang tepat, dengan jumlah yang tepat, cara yang tepat, menggunakan alat yang tepat" (Amin, Rowshon, & Aimrun, 2011). Frase "menggunakan alat yang tepat" membuka peluang bagi teknologi tepat guna yang ramah Sumber Daya Manusia (SDM) pedesaan untuk diterapkan. Pertanian presisi dalam bidang irigasi akan memastikan efisiensi aplikasi air yang tinggi, juga produktivitas air dan lahan yang tinggi untuk produksi padi yang berkelanjutan.

Konsep pertanian presisi untuk irigasi pada skala daerah irigasi, memerlukan alat bantu Sistem Informasi Geografis (Kamal & Amin, 2010). Penerapan konsep tersebut pada level "kelompok

petakan" masih belum matang dan mengandalkan sistem buka tutup melalui kesepakatan P3A. Sistem ini, disamping kurang efisien juga lambat dalam pelaksanaan, akibat pengambilan keputusan yang memerlukan proses. Ide yang dapat diterapkan untuk kondisi ini adalah otomatisasi pemberian air dengan penerapan metode irigasi evaporatif.

Prinsip dari metode ini adalah pemberian air pada petakan sejumlah air yang dibutuhkan oleh tanaman pada fase pertumbuhannya. Ide ini lebih sederhana daripada sistem irigasi pipa (Fajar, Purwanto, & Tarigan, 2016) yang memerlukan instalasi pipa pada hamparan petakan-petakan. Irigasi evaporatif hanya memerlukan modifikasi pada *inlet* tiap-tiap petak dengan katup otomatis. Sawah konvensional pada umumnya hanya membiarkan lubang inlet selalu terbuka. Pada sistem irigasi pipa, lubang inlet digantikan dengan katup berpelampung, sementara saluran-saluran irigasi diganti dengan jaringan pipa. Modifikasi inlet pada irigasi evaporatif tidak memerlukan penggantian jaringan irigasi, namun hanya memodifikasi katup dengan sistem otomatis. Katup otomatis tersebut tidak akan menerapkan prinsip elektronik yang memerlukan listrik, namun hanya menggunakan prinsip mekanis sederhana.

Tujuan penelitian ini adalah untuk: (1) mengkaji aspek teoritis dari *evaporative irrigation* (irigasi evaporatif) untuk diterapkan ke petakan-petakan sawah dalam satu hamparan petakan dengan kesatuan irigasi; (2) meletakkan prinsip-prinsip desain untuk pembukaan-penutupan katup irigasi evaporatif.

II. METODOLOGI

2.1. Konsep Teoretis

Efisiensi aplikasi dapat dihitung berdasarkan Persamaan Hansen (Mangrio, Mirjat, Leghari, Zardari, & Shaikh, 2015; Fajar *et al.*, 2016), seperti pada Persamaan 1.

$$E_a = \frac{w_a}{w_s} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

E_a = efisiensi aplikasi (%)

W_s = jumlah air yang tersimpan dalam zona perakaran (mm)

W_f = total air yang diaplikasikan (mm)

Berdasarkan Persamaan 1, peningkatan efisiensi aplikasi air dapat dilakukan dengan mengurangi W_f atau memperbesar W_s . Hipotesis yang dapat dibangun adalah, apabila pemberian air ke petakan sawah dapat dikurangi (tanpa mengurangi produktivitas), maka aliran air yang menuju ke

petakan harus diberikan cukup sebesar kebutuhan air tanamannya. Perubahan dan jumlah simpanan air yang tersimpan pada zona perakaran (30 cm dari permukaan) dapat ditentukan dengan perhitungan kesetimbangan air pada Persamaan 2 (Bhadra, Bandyopadhyay, Singh, & Raghuvanshi, 2013; Arif, Setiawan, Mizoguchi, & Doi, 2012):

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = (Irr + Re + SP_{in}) - (SP_{out} + Dr + ETC) \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

- Irr = adalah pemberian air irigasi (mm)
- Re = hujan efektif (mm)
- SP_{in} = rembesan masuk ke dalam petakan sawah (seepage - percolation) (mm)
- SP_{out} = rembesan keluar dari petakan sawah (mm)
- Dr = drainase keluar petakan (mm)
- ETC = kebutuhan air tanaman pada fase pertumbuhannya (mm)

Pada kondisi awal, simpanan air pada petak adalah kadar air tanah pada lahan dan ketinggian penggenangan awal petakan, seperti pada Persamaan 3.

$$S_{init} = h_{sat} + Flood \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

- S_{init} = simpanan air awal di petakan saat mulai perhitungan (mm)
- h_{sat} = tebal air pada petakan pada kondisi jenuh ($h_{sat} = \theta_{sat} \cdot$ ketebalan daerah perakaran) (mm)
- $Flood$ = Ketinggian penggenangan awal petakan (mm)

Perhitungan simpanan air pada petakan di waktu tertentu, dapat dihitung dengan Persamaan 4.

$$S_{t+\Delta t} = \Delta t[(Irr + Re + SP_{in}) - (SP_{out} + Dr + ETC)] + S_t \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

- $S_{t+\Delta t}$ = simpanan air setelah selang waktu analisis (mm)
- S_t = simpanan air sebelum $S_{t+\Delta t}$

Untuk keperluan perencanaan fasilitas irigasi dan rencana penggunaan air, nilai kebutuhan air tanaman didasarkan pada perhitungan evapotranspirasi pada level petakan (Watanabe, 2018).

Pemberian air pada tiap petak sesuai dengan kebutuhan air tanaman harus dilakukan. Kendala yang dihadapi di lapangan adalah umur tanaman

tidak sama pada tiap petak. Pada hamparan petakan-petakan yang bersumber dari satu outlet saluran tersier, air yang mengalir ke tiap-tiap petak (yang memiliki perbedaan fase pertumbuhan) harus disesuaikan dengan kebutuhan airnya.

Kebutuhan air tanaman (ETc) pada tiap petak, dapat ditentukan berdasarkan fase pertumbuhannya. Nilai tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan *Penman-Monteith* untuk evapotranspirasi tanaman dan mengalikan nilainya dengan koefisien pertumbuhan tanaman, seperti pada Persamaan 5.

$$ETc = k_c ETo \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

- k_c = koefisien tanaman yang bergantung pada umur tanaman
- ETo = evapotranspirasi tanaman referensi (mm)

2.2. Permodelan dan Perancangan Irigasi Evaporatif

Permasalahan pengaturan pengaliran dapat dilakukan dengan memberikan pengendali irigasi evaporatif pada tiap inlet. Prinsipnya adalah memberikan air pada sawah sejumlah air yang hilang melalui evapotranspirasi.

Pengaturan dilakukan secara mekanis menggunakan pelampung. Tiap petak sawah dipasang dengan katup buka tutup yang bekerja dengan mekanisme pelampung. Sebagai pengendali buka tutup katup adalah ketinggian air pada pipa kontroler *water table* yang dipasang dalam petakan. Pipa kontroler ini berupa pipa berlubang (*perforated tube*) yang biasa digunakan untuk memonitor level air petakan di bawah permukaan tanah (Kulkarni, 2011).

Mekanisme buka-tutup katup yang dapat digunakan ditunjukkan pada Gambar 1. Tidak tertutup kemungkinan untuk penerapan mekanisme lain dengan prinsip “tepat guna” dan tanpa input listrik dari luar. Pengaliran air pada skala petakan dengan metode irigasi evaporatif memerlukan penyetelan katup pada posisi buka-tutup yang tepat sesuai dengan kehilangan air yang terjadi di petakan. Pada irigasi pembasahan dan pengeringan berselang (*alternate wetting and drying*), bukaan katup dapat diatur apabila muka air turun hingga kedalaman tertentu.

Evapotranspirasi pada lahan (ETc) tidak sama dengan evaporasi air terbuka pada pipa kontroler (*Evap*). Evapotranspirasi dapat dihitung menggunakan persamaan *Penman-Monteith* dengan koefisien tanaman, sedangkan evaporasi air terbuka dihitung dengan persamaan evaporasi

dengan metode radiasi. Ketika terjadi kehilangan air pada petakan sawah, baik karena evapotranspirasi, atau perkolasi, muka air pada sawah akan turun. Kenaikan atau penurunan muka air yang terjadi pada petakan sawah, akan berdampak pada penurunan muka air pada pipa kontroler Gambar 2.

Jika ketinggian air minimum pada pipa kontroler menjadi variabel yang menentukan pembukaan katup sepenuhnya (h_{open}), dan ketinggian air maksimum pada pipa kontroler menentukan penutupan total katup (h_{close}), maka selisih h_{open} dan h_{close} disebut Δh_{max} (Persamaan 6).

$$\Delta h_{max} = h_{open} - h_{close} \dots\dots\dots(6)$$

Dinamika muka air diantara h_{open} dan h_{close} pada pipa kontroler dapat dikatakan sebagai $\frac{dh_{con}}{dt}$.

Perubahan simpanan air pada petakan seperti pada Persamaan 2 dapat diterjemahkan ke dalam persamaan muka air hipotetik (tebal air) petakan sawah (h_{plot}) seperti pada Persamaan 7. Dinamika perubahan muka air pada pipa kontroler ($\frac{dh_{con}}{dt}$) dapat digambarkan mengikuti Persamaan 8. *Lateral flow* masuk dan keluar pipa kontroler, diasumsikan tidak terjadi secara bersamaan.

$$\frac{dh_{plot}}{dt} = (Irr + Re + SP_{in}) - (SP_{out} + Dr + ETc) \dots\dots\dots(7)$$

$$\frac{dh_{con}}{dt} = Re - Evap - Per + L_f \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan:

- $Evap$ = evaporasi dari air terbuka (mm)
- Per = perkolasi pada pipa kontroler (bernilai sama dengan perkolasi petakan) (mm)
- L_f = *lateral flow factor*, yang tergantung pada perbedaan h_{plot} dengan h_{con} (Persamaan 9)

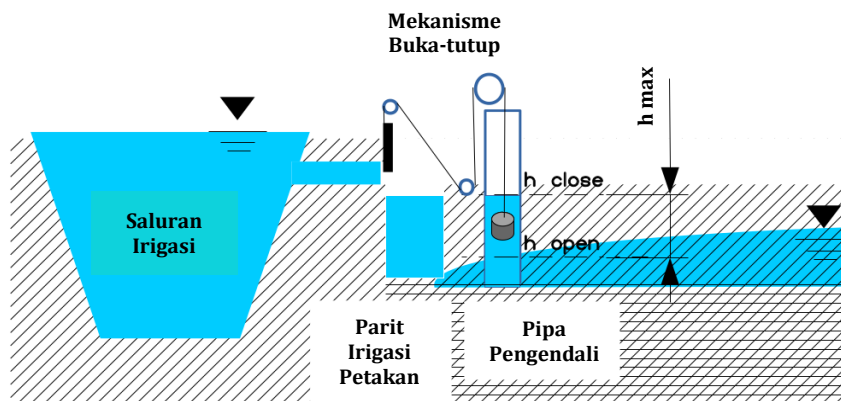
$$L_f = K_{sat} \frac{A_{wet} h_{plot} - h_{con}}{A_{con} \Delta x} \dots\dots\dots(9)$$

A_{wet} dapat dijabarkan sebagai $2\pi r_{con} h_{con}$ sehingga dapat disusun Persamaan 10.

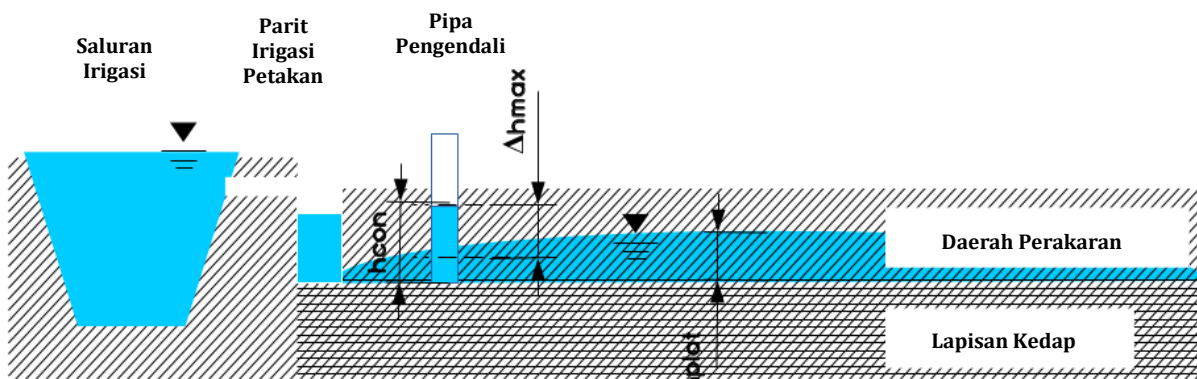
$$\frac{dh_{con}}{dt} = Re - Evap - Per + \frac{2K_{sat}}{r_{con}\Delta x} h_{con} (h_{plot} - h_{con}) \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan:

- Δx = jarak dari tengah plot sawah ke pipa kontroler (mm)



Gambar 1 Mekanisme Buka-Tutup Katup pada Irigasi Evaporatif



Gambar 2 Kondisi Muka Air Pipa Kontroler dan Muka Air Petakan

Persamaan 7 dan 8 dapat diselesaikan dengan metode numerik. Nilai awal untuk h_{plot} dan h_{con} dianggap sama. Selanjutnya dinamika h_{plot} dan h_{con} akan mengikuti dinamika komponen-komponen Persamaan 7 dan 8.

Tabel 1 *Initial Value* (Nilai Awal) Muka Air Petakan dan Pipa Kontroler

Parameter	Nilai	Referensi
h_{plot}, h_{con}	300 mm	Liu, Chen, Jou, & Kuo (2001)
ET_o	4,7 mm/day	Ardiansyah (2008); Olchev <i>et al.</i> (2008)
$Evap$	4 mm/day	
SP_{out}	1,2 mm/day	Arif, Setiawan, Sofiyuddin, <i>et al.</i> (2012)

2.3. Perancangan Tinggi Muka Air untuk Buka-Tutup Irigasi pada Petakan

Perancangan irigasi evaporatif bertujuan untuk menentukan berapa nilai h_{open} dan h_{close} . Dengan demikian penyetelan katup dapat dilakukan dengan tepat pada tiap petakan yang akan menerapkan *evaporative irrigation*. Simulasi untuk penentuan h_{open} dan h_{close} dilakukan dengan menetapkan komponen air yang masuk ke petak sawah semua bernilai nol ($Irr = 0, Re = 0$). Komponen air yang keluar juga ditetapkan bernilai nol untuk drainase ($Dr = 0$). Perubahan simpanan air di petakan sawah dianggap hanya dipengaruhi ET_c dan SP_{out} . Penurunan muka air h_{plot} dan h_{con} ditentukan dengan simulasi hingga h_{plot} bernilai lebih kecil dari tebal air pada kondisi jenuh ($h_{plot} \leq h_{sat}$). Jika kondisi tersebut terpenuhi, irigasi akan diberikan sebesar kebutuhan air tanaman harian (ET_c). Kondisi awal yang dapat ditetapkan untuk perancangan terdapat dalam Tabel 1.

Tekstur tanah sawah di Indonesia sangat bervariasi. Tanah lempung berpasir (*silty loam*) memiliki nilai konduktivitas hidrolik (K_{sat}) sekitar 0,001 cm/s, sedangkan tanah liat (*clay*) bernilai $1,46 \times 10^{-5}$ cm/s (Sarki, Mirjat, Mahessar, Kori, & Qureshi, 2014). Tanah sawah pada beberapa tempat di Indonesia memiliki tekstur lempung (*loam*) atau lempung berdebu (*silty loam*) (Rahayu, Utami, & Rayes, 2017). Simulasi ini mengasumsikan tanah dengan tekstur lempung (*loam*) dimana menurut (Bittelli, Campbell, & Tomei, 2015), nilai K_{sat} -nya sebesar antara 0,000333 hingga 0,000978 cm/s. Nilai K_{sat} sebesar 0,0003 cm/s digunakan dalam perhitungan pada tulisan ini.

Gambar 3 digunakan untuk menjelaskan proses *lateral flow*. Pipa pengendali (kontroler) digunakan

untuk mendeteksi tinggi air dibawah permukaan tanah sawah. Pipa ini tidak berisi tanah, sehingga air yang mengalir secara lateral masuk mengisi air dalam pipa.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perkiraan kebutuhan air yang tepat pada level petakan, penggunaan persamaan *Penman-Monteith* (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 1998; Vu, Watanabe, & Takagi, 2005). Namun, untuk keperluan estimasi, akan digunakan nilai sebesar 4,7 mm/hari. Nilai tersebut cukup diterima untuk kondisi potensial pada tanah basah baik dengan vegetasi maupun tanpa vegetasi (Ardiansyah, 2008).

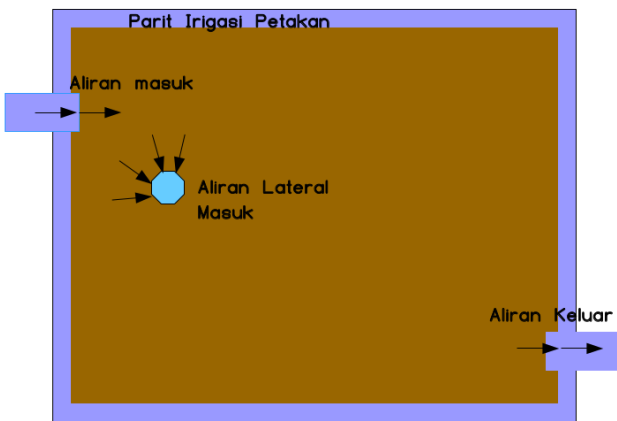
Simulasi untuk perancangan irigasi evaporatif dengan kondisi input seperti pada Tabel 1, dan kondisi syarat perancangan ($Irr = 0, Re = 0, Dr = 0$), menunjukkan kondisi kesetimbangan air petakan seperti pada Gambar 4. Asumsi kedalaman daerah perakaran bervariasi antara 300 mm (Fan, McConkey, Wang, & Janzen, 2016) hingga 350 mm (Li *et al.*, 2017) bahkan 1200 mm (Dash, Sarangi, Singh, Singh, & Adhikary, 2015). Pada simulasi ini, digunakan kedalaman 300 mm. Kondisi awal kadar air di sawah adalah jenuh tanpa genangan (macak-macak) dengan ketebalan 300 mm, diukur dari lapisan kedap sebagai titik referensi. Pemberian irigasi dengan strategi tersebut dilakukan pada hari ke-31, sebesar kebutuhan air tanaman pada fase tersebut (4,9 mm/hari). Dengan strategi tersebut, total pemberian air irigasi pada periode setelah pindah tanam adalah sebesar 477 mm. Kebutuhan air tanaman pada periode tersebut adalah 625 mm. Selisih kebutuhan air tanaman sebesar 148 mm, pada hari ke-1 hingga 30, dapat dipenuhi dari kondisi awal air pada petakan.

Dinamika penurunan level air pada pipa kontroler atau ketebalan air pada petakan sawah dapat dilihat pada Gambar 5. Dengan kondisi awal air jenuh pada petakan, dan ketinggian air yang sama pada pipa kontroler, irigasi tidak perlu diberikan. Kebutuhan air tanaman dapat dipenuhi dengan ketebalan air sebesar 300 mm (macak-macak). Ketersediaan air ini dapat digunakan hingga pada hari ke-31, dimana ketebalan air pada petakan sebesar 117,8 mm. Kondisi ini mendekati kondisi jenuh ($h = 120$ mm).

Dari Gambar 5 juga diketahui bahwa penurunan h_{plot} lebih cepat daripada h_{con} . Pada HST ke-31, dimana pemberian irigasi dilakukan, kecepatan penurunan h_{plot} berkurang. Penurunan tersebut tidak berdampak pada kecepatan penurunan h_{con} . Meskipun $h_{plot} > h_{con}$, *lateral flow* (L_f) yang terjadi sangat kecil (antara 0 - 0,1 mm/hari). Hal ini dapat dipahami, mengingat konsep h_{plot} sendiri bukan

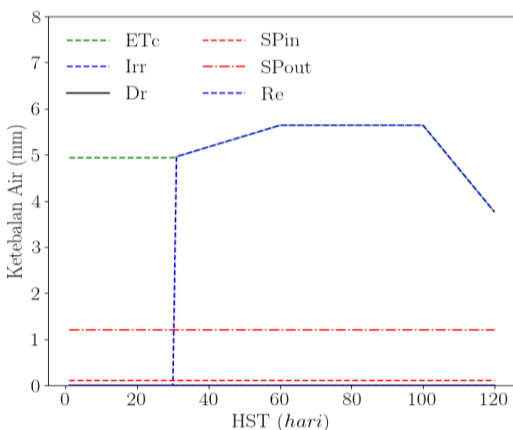
muka air pada petakan, melainkan ketebalan air. Muka air sendiri adalah bagian tanah yang berada pada kondisi jenuh. Diperlukan sebaran kadar air vertikal dari permukaan tanah ke batas perakaran.

Jarak antara h_{plot} dan h_{con} juga menyebabkan lateral flow masuk (L_{fin}) ke pipa kontroler sangat kecil. Ketika h_{plot} menurun, pengaruhnya terhadap penurunan h_{con} berlangsung cepat, namun ketika terjadi peningkatan h_{plot} , peningkatan h_{con} berlangsung lama. Kondisi dimana L_{fin} sangat kurang dari L_{fout} akan mengganggu kondisi buka-tutup. Berbeda dengan pembukaan katup irigasi, penutupan katup irigasi menjadi tidak sensitif terhadap ketersediaan air di lahan.

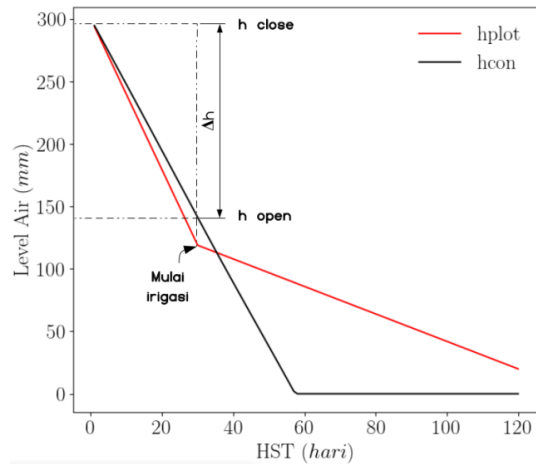


Gambar 3 Ilustrasi Lateral Flow

Gambar 3 digunakan untuk menjelaskan proses lateral flow. Pipa pengendali (kontroler) digunakan untuk mendeteksi tinggi air dibawah permukaan tanah sawah. Pipa ini tidak berisi tanah, sehingga air yang mengalir secara lateral masuk mengisi air dalam pipa.



Gambar 4 Komponen Kesetimbangan Air pada Petakan dengan Irigasi Evaporatif



Gambar 5 Penentuan h_{open} dan h_{close} dari Dinamika h_{con} dan h_{plot}

Permasalahan ini memerlukan solusi penggunaan mekanisme lain untuk menutup. Masih diperlukan percobaan dengan kondisi iklim yang sebenarnya untuk mengkonfirmasi berbagai kemungkinan yang terjadi di lapangan. Berbagai kondisi iklim yang mempengaruhi, seperti curah hujan, perkolasi dan rembesan, akan menentukan desain katup irigasi evaporatif yang spesifik untuk tiap-petak.

Penerapan konsep irigasi evaporatif memerlukan desain ulang petak-petak tersier. Pada tiap-tiap petakan diberi parit-parit kecil sebagai jalan air untuk masuk dan keluar. Pada setiap inlet dan outlet diberi katup-katup yang dikendalikan buka tutupnya dengan mekanisme kehilangan air evaporasi. Standar katup-katup tersebut adalah tertutup, kecuali pada kondisi terjadi permintaan air karena evaporasi. Jika ada satu petak (Petak ke-(n)) membutuhkan air, terbukanya katup inlet petak ke-(n) akan menyebabkan air masuk dari petak sebelumnya petak ke-(n-1). Jika petak (n-1) (yang elevasinya lebih tinggi) juga mengalami kekurangan air, maka katup inlet petak (n-1) akan membuka untuk mengalirkan air dari petak (n-2). Mekanisme ini akan terus merambat hingga ke petak yang terdekat ke saluran irigasi. Tipikal petakan sawah di Indonesia yang pada umumnya memiliki ukuran berbeda-beda akan membentuk kesatuan tata air. Satu petakan mendapat air dari outlet petakan lain, sementara petakan itu mejadi inlet untuk petakan yang lain lagi. Petakan-petakan itu membentuk klaster. Penerapan metode ini dapat dilakukan pada satu klaster petakan yang memiliki kesatuan tata air, hingga beberapa klaster, mekanisme ini dapat diterapkan.

Biaya investasi tidak sebesar apabila membuat wireless network sensor dan katup solenoid seperti apabila diterapkan teknologi IoT. Selain memerlukan biaya untuk peralatan yang memiliki

siklus hidup yang pendek, teknologi IoT juga memerlukan sumber energi berupa listrik. Pada kondisi jaringan listrik sulit dicapai, listrik ini diberikan oleh baterai.

Dibandingkan dengan irigasi menggunakan jaringan pipa, metode ini juga lebih mudah, karena hanya menggali parit-parit kecil di sisi petakan. Saluran terbuka menyebabkan masalah endapan yang sering ditemui ketika menggunakan saluran tertutup, tidak menghambat kinerja keseluruhan.

Salah satu kelemahan pada metode ini adalah pada perencanaan. Perencanaan awal untuk penerapan petakan-petakan menjadi sangat penting, sehingga pengukuran konduktivitas hidrolis tanah pada tiap petakan perlu dilakukan. Perbedaan konduktivitas hidrolis antar petak perlu dipertimbangkan agar waktu jeda antara bukaan katup inlet di petak ke-(n) dan ke-(n-1) (dan seterusnya) tidak menyebabkan kondisi kekurangan air hingga mencapai kadar air kritis. Simulasi perhitungan waktu jeda, dan waktu mencapai kadar air tanah yang diinginkan sangat diperlukan. Simulasi sederhana dapat menggunakan model sistem dinamik berupa sistem persamaan diferensial ordo-1. Sedangkan simulasi yang lebih detail dapat melibatkan model groundwater yang menggunakan persamaan diferensial parsial. Persamaan ini diterapkan pada setiap petak.

Ujicoba metode ini pada klaster petakan sawah perlu dilakukan untuk mengetahui kendala-kendala teknis di lapangan. Desain katup dengan mekanisme pengendali buka tutup yang diberikan pada tulisan ini (Gambar 1) juga dapat bervariasi sesuai kondisi lapangan.

IV. KESIMPULAN

Penggunaan sistem persamaan diferensial untuk menganalisis penurunan muka air pada pipa kontroler dan pada petakan sawah membuat penyederhanaan pada dinamika perubahan ketinggian air. Persamaan aliran air pada tanah jenuh dapat digunakan, namun untuk keperluan praktis akan mempersulit kalibrasi model. Agar ide ini dapat diterapkan, perlu dilakukan pembuatan katup irigasi evaporatif dan dilakukan percobaan pada berbagai ukuran petakan. Penyesuaian petakan dengan pemberian parit irigasi harus dilakukan untuk menyediakan jalur air bagi petak berikutnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kementerian Ristekdikti atas pendanaan penelitian berjudul "*Developing SRI Paddy Field Information System for Green Agriculture*". Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada

Kementerian PUPR atas kegiatan berjudul "*Menyusun Strategi Pemberdayaan Kelembagaan P3A dan Alih Teknologi Budidaya Padi Hemat Air*". Tulisan ini dibuat berdasarkan hasil yang diperoleh dari kedua kegiatan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56). Rome, Italy: Food and Agriculture Organization.
- Amin, M. S. M., Rowshon, M. K., & Aimrun, W. (2011). Paddy Water Management for Precision Farming of Rice. *Current Issues of Water Management. InTech*, 107-142.
- Ardiansyah. (2008). *Estimation of Evapotranspiration in Cultivated and Uncultivated Paddy Field in Tropical Watershed* (Doctoral Thesis). The University of Tokyo, Tokyo, Japan.
- Arif, C., Setiawan, B. I., Mizoguchi, M., & Doi, R. (2012). Estimation of water balance components in paddy fields under non-flooded irrigation regimes by using excel solver. *Journal of Agronomy*, 11(2), 53-59. <https://doi.org/DOI:10.3923/ja.2012.53.59>
- Arif, C., Setiawan, B. I., Sofiyuddin, H. A., Martief, L. M., Mizoguchi, M., & Ryoichi, D. O. I. (2012). Estimating crop coefficient in intermittent irrigation paddy fields using excel solver. *Rice Science*, 19(2), 143-152. [https://doi.org/10.1016/S1672-6308\(12\)60033-X](https://doi.org/10.1016/S1672-6308(12)60033-X)
- Bhadra, A., Bandyopadhyay, A., Singh, R., & Raghuvanshi, N. S. (2013). Development of a user friendly water balance model for paddy. *Paddy and Water Environment*, 11(1-4), 331-341. <https://doi.org/10.1007/s10333-012-0324-4>
- Bittelli, M., Campbell, G. S., & Tomei, F. (2015). *Soil physics with Python: transport in the soil-plant-atmosphere system*. Oxford, England: Oxford University Press.
- Dash, C. J., Sarangi, A., Singh, D. K., Singh, A. K., & Adhikary, P. P. (2015). Prediction of root zone water and nitrogen balance in an irrigated rice field using a simulation model. *Paddy and Water Environment*, 13(3), 281-290. <https://doi.org/10.1007/s10333-014-0439-x>
- Fajar, A., Purwanto, M. Y. J., & Tarigan, S. D. (2016). Efisiensi sistem irigasi pipa untuk mengidentifikasi tingkat kelayakan pemberian air dalam pengelolaan air irigasi. *Jurnal Irigasi*, 11(1), 33-42.
- Fan, J., McConkey, B., Wang, H., & Janzen, H. (2016). Root distribution by depth for temperate agricultural crops. *Field Crops Research*, 189, 68-74. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.02.013>

- Gutiérrez, J., Villa-Medina, J. F., Nieto-Garibay, A., & Porta-Gándara, M. Á. (2014). Automated irrigation system using a wireless sensor network and GPRS module. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 63(1), 166–176. <https://doi.org/10.1109/TIM.2013.2276487>
- Kamal, R. M., & Amin, M. S. M. (2010). GIS-based irrigation water management for precision farming of rice. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 3(3), 27–35. <https://doi.org/10.3965/j.issn.1934-6344.2010.01.027-035>
- Kulkarni, S. (2011). Innovative technologies for water saving in irrigated agriculture. *International Journal of Water Resources and Arid Environments*, 1(3), 226–231.
- Li, S., Zuo, Q., Wang, X., Ma, W., Jin, X., Shi, J., & Ben-Gal, A. (2017). Characterizing roots and water uptake in a ground cover rice production system. *PLoS One*, 12(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180713>
- Liu, C.-W., Chen, S.-K., Jou, S.-W., & Kuo, S.-F. (2001). Estimation of the infiltration rate of a paddy field in Yun-Lin, Taiwan. *Agricultural Systems*, 68(1), 41–54. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(00\)00062-7](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(00)00062-7)
- Mangrio, M. A., Mirjat, M. S., Leghari, N., Zardari, N. H., & Shaikh, I. A. (2015). Evaluating water application efficiencies of surface irrigation methods at farmer's field. *Pakistan Journal of Agriculture, Agricultural Engineering and Veterinary Sciences*, 31(2), 279–288.
- McCulloch, J., McCarthy, P., Guru, S. M., Peng, W., Hugo, D., & Terhorst, A. (2008). Wireless sensor network deployment for water use efficiency in irrigation. Dalam *Proceedings of the workshop on Real-world wireless sensor networks* (pp. 46–50). Glasgow, Scotland: ACM. <https://doi.org/10.1145/1435473.1435487>
- Olchev, A., Ibrom, A., Priess, J., Erasmi, S., Leemhuis, C., Twele, A., ... Gravenhorst, G. (2008). Effects of land-use changes on evapotranspiration of tropical rain forest margin area in Central Sulawesi (Indonesia): Modelling study with a regional SVAT model. *The Fifth European Conference on Ecological Modelling*, 212(1–2), 131–137. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.10.022>
- O'Shaughnessy, S. A., Evett, S. R., Colaizzi, P. D., & Howell, T. A. (2012). A crop water stress index and time threshold for automatic irrigation scheduling of grain sorghum. *Agricultural Water Management*, 107, 122–132.
- Rahayu, A., Utami, S. R., & Rayes, M. L. (2017). Karakteristik dan Klasifikasi Tanah pada Lahan Kering dan Lahan yang Disawahkan di Kecamatan Perak Kabupaten Jombang. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 1(2), 79–87.
- Romero, R., Muriel, J. L., García, I., & de la Peña, D. M. (2012). Research on automatic irrigation control: State of the art and recent results. *Agricultural Water Management*, 114, 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.06.026>
- Sarki, A., Mirjat, M. S., Mahessar, A. A., Kori, S. M., & Qureshi, A. L. (2014). Determination of saturated hydraulic conductivity of different soil texture materials. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 7(12), 56–62.
- Setiawan, B., Saptomo, S., Sofiyuddin, H., & Gardjito. (2011). Wireless automatic irrigation to enhance water management in SRI paddy field. Dipresentasikan dalam "The Regional Symposium on Engineering & Technology: Opportunities and Challenges for Regional Cooperations in Green Engineering and Technology", Kuching, Serawak, Malaysia.
- Vu, S. H., Watanabe, H., & Takagi, K. (2005). Application of FAO-56 for evaluating evapotranspiration in simulation of pollutant runoff from paddy rice field in Japan. *Agricultural Water Management*, 76(3), 195–210.
- Watanabe, T. (2018). Paddy Fields as Artificial and Temporal Wetland. In *Irrigation in Agroecosystems*. London, Inggris: IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.80581>