

EVALUASI KOEFISIEN TANAMAN PADI PADA BERBAGAI PERLAKUAN MUKA AIR

CROP COEFFICIENT EVALUATION AT VARIOUS WATER TABLE TREATMENTS OF PADDY

Oleh:

Nur Aini Iswati Hasanah¹⁾, Budi Indra Setiawan¹⁾, Chusnul Arif¹⁾, Slamet Widodo²⁾

¹⁾Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, IPB, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Indonesia

²⁾Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Indonesia

Komunikasi Penulis, email: nurainiiswatihasanah@gmail.com, budindra@ipb.ac.id, chusnul_ar@yahoo.com, slamet.ae39@gmail.com

Naskah ini diterima pada 6 Agustus 2015; revisi pada 27 Agustus 2015

Disetujui untuk dipublikasikan pada 15 September 2015

ABSTRACT

Paddy is the main agricultural commodity in Indonesia that needs a large amount of water. Accurate prediction of crop water use is essential to have an efficient irrigation system. The actual evapotranspiration (ET_c) is an important factor for estimating water use. Moreover, crop coefficient (K_c) is one of the important parameters in ET_c calculation. In this study, K_c of paddy is estimated by using experimental pots under various water tables treatments. The water table is controlled by using mariotte tube and set at -12 cm, -7 cm, -5 cm, -3 cm, 0 cm, and +2 cm from the soil surface. From the experimental sets, the value K_c is calculated by using modified water balance equation and Kalman Filter. The result shows that water table treatment in paddy farming influences soil moisture (θ) and soil temperature (T_{soil}). Soil physic parameter fluctuation due to water table treatment affects the plant growth and potential evapotranspiration. K_c value at each water table treatment is different, and varies with plant growth phase. The average K_c for all water table treatments are 0.77-1.27 (initial season), 0.90-1.11 (crop development), 1.10-1.39 (mid-season), and 1.17-1.40 (late season).

Keywords: *crop coefficient, evapotranspiration, water balance, water table, paddy*

ABSTRAK

Padi merupakan komoditas pertanian utama di Indonesia yang membutuhkan air dalam jumlah banyak saat pembudidayaannya. Prediksi yang akurat dari jumlah penggunaan air tanaman diperlukan untuk sistem penggunaan air irigasi yang efisien. Evapotranspirasi aktual (ET_c) adalah nilai penting yang digunakan untuk memprediksi jumlah air irigasi. Koefisien tanaman (K_c) harus diketahui terlebih dahulu untuk menghitung ET_c tersebut. Penelitian untuk memperkirakan K_c padi telah dilakukan di dalam pot dengan berbagai perlakuan muka air. Muka air tersebut diatur menggunakan tabung Mariot. Muka air ditetapkan pada -12 cm, -7 cm, -5 cm, -3 cm, 0 cm, dan 2 cm dari permukaan tanah. Dalam penelitian ini, K_c dihitung menggunakan persamaan neraca air modifikasi dan Kalman Filter. Hasilnya menunjukkan bahwa perlakuan muka air pada penanaman padi mempengaruhi kelembaban tanah (θ) dan temperatur tanah (T_{soil}). Fluktuasi dari parameter fisik tanah akibat perlakuan muka air tersebut memberikan efek pada pertumbuhan tanaman dan kemungkinan terjadinya evapotranspirasi, sehingga nilai K_c pada setiap perlakuan menjadi berbeda. Secara umum, nilai K_c juga akan berbeda seiring dengan pertumbuhan tanaman. K_c rata-rata untuk semua perlakuan muka air adalah 0,77-1,27 (*initial season*), 0,90-1,11 (*crop development*), 1,10-1,39 (*mid-season*), dan 1,17-1,40 (*late season*).

Kata kunci: *koefisien tanaman, evapotranspirasi, muka air, neraca air, padi*

I. PENDAHULUAN

Pengelolaan air yang efisien perlu dilakukan di lahan budidaya padi. Pengetahuan tentang besarnya evapotranspirasi yang terjadi sangat penting untuk pengelolaan air tersebut (Petillo dan Castel, 2007). Arif *et al.* (2012) menyatakan bahwa evapotranspirasi aktual tanaman (ET_c) padi perlu diestimasi karena merupakan sumber kehilangan air utama dari tanaman dan permukaan tanah, serta juga merupakan komponen konsumsi air utama pada budidaya padi.

Prediksi nilai ET_c yang akurat diperlukan untuk mengatur volume dan frekuensi pemberian irigasi sesuai dengan kebutuhan air tanaman. Besar nilai evapotranspirasi tanaman padi tersebut bervariasi tergantung nilai koefisien tanaman (K_c) yang berfluktuasi sesuai dengan tahap pertumbuhan dari tanaman (Sofiyuddin *et al.*, 2010). K_c secara umum digunakan untuk memperkirakan nilai ET_c dengan cara digunakan sebagai faktor pengali dari nilai evapotranspirasi potensial (ET_o). K_c tersebut harus diturunkan untuk setiap tanaman secara empiris berdasarkan aktivitas budidaya dan kondisi iklim lokal (Abdullahi *et al.*, 2013). Menurut Kar *et al.* (2007), dengan diketahuinya nilai K_c berdasarkan data-data tersebut, maka peningkatan kualitas perencanaan dan efisiensi irigasi pada berbagai lahan budidaya dapat ditingkatkan.

Pengaturan muka air di lahan budidaya merupakan salah satu aktivitas spesifik lokal yang turut mempengaruhi nilai K_c . Penerapan muka air yang berbeda terjadi di lahan budidaya padi petani. Penerapan muka air tersebut sangat terkait dengan ketersediaan air di lahan yang dapat mempengaruhi pertumbuhan padi yang ditanam. Menurut Sofiyuddin *et al.* (2010), muka air yang seringkali diterapkan di Indonesia, khususnya di Provinsi Jawa Barat adalah muka air +2 cm di atas permukaan tanah hingga muka air mendekati 10 cm di bawah permukaan tanah dimana fenomena retak rambut mulai terjadi. Atas dasar hal tersebut, maka pada penelitian ini dilakukan evaluasi nilai K_c yang terjadi pada budidaya padi di berbagai penerapan muka air (-12, -7, -5, -3, 0, +2 cm dari permukaan tanah).

Penentuan nilai K_c di penelitian ini menggunakan metode neraca air yang dimodifikasi. Metode tersebut dipilih karena lebih mudah diterapkan di lapangan daripada metode lain dengan persyaratan data masukan (irigasi, hujan) dan fluktuasi kadar air tanah dimiliki (Petillo dan Castel 2007). Selain itu, metode neraca air modifikasi juga menjadi solusi atas permasalahan aliran air di lahan budidaya padi sarat dengan

kompleksitas dan observasi serta evaluasi di lapangan relatif sulit, mahal, dan memakan waktu (Li *et al.*, 2014).

II. TINJAUAN PUSTAKA

K_c merupakan parameter penting dalam studi mengenai respon tanaman terhadap penerapan berbagai praktek irigasi (Arif *et al.*, 2012). Nilai K_c sangat diperlukan untuk dapat mengetahui besarnya ET_c . Nilai K_c tersebut umumnya diketahui melalui pengukuran ET_c dengan lisimeter maupun perhitungan dengan metode neraca air dan membandingkannya dengan nilai ET_o yang dapat dihitung dengan berbagai metode (Gao *et al.* 2009).

Allen *et al.* (1998) menyatakan bahwa metode observasi ET_c menggunakan lisimeter untuk mengetahui nilai K_c berdasarkan kondisi iklim lokal perlu digunakan apabila akurasi yang sangat tinggi diperlukan. Namun, metode lisimeter tersebut seringkali dianggap rumit dan membutuhkan banyak waktu sehingga seringkali metode neraca air dipilih walaupun keakuratannya lebih rendah. Menurut Petillo dan Castel (2007), nilai ET_c pada metode neraca air merupakan hasil dari perhitungan. Dalam metode ini, kesalahan estimasi akan terakumulasi pada nilai ET_c .

Nilai K_c pada lokasi yang sama, namun memiliki aktivitas budidaya yang berbeda dapat diestimasi dengan mudah menggunakan metode neraca air modifikasi. Menurut Setiawan *et al.* (2014), hujan merupakan salah satu komponen neraca air. Pada lokasi yang sama, maka nilai P juga akan sama. Oleh karena itu, pada metode neraca air modifikasi nilai K_c suatu budidaya dapat diestimasi setelah mengetahui nilai K_c budidaya lainnya dan melakukan pendekatan neraca air dengan meniadakan komponen hujan.

III. METODOLOGI

3.1. Lokasi dan Desain Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sumberdaya Air, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan-IPB selama satu musim tanam (Gambar 1a). Penanaman dimulai pada 2 Juli 2014, sedangkan panen dilakukan pada 23 Oktober 2014.

Penanaman padi varietas Ciherang di lokasi penelitian dilakukan di pot dimana masing-masing pot terhubung dengan tabung mariot (Gambar 1b). Padi tersebut ditanam menggunakan metode *System of Rice Intensification* (SRI) dimana padi ditanam tunggal pada usia muda (12 hari setelah semai). Tanah

yang digunakan di pot penelitian adalah tanah bertekstur lempung berdebu dengan karakteristik yang tercantum pada Tabel 1.

Keseluruhan pot yang digunakan sebanyak 12 pot dengan 6 tinggi muka air yang berbeda yang dikendalikan secara otomatis, yakni -12, -7, -5, -3, 0, dan +2 cm dari permukaan tanah. Pengaturan tersebut hanya dilakukan pada 0-40 dan 47-90 hari setelah tanam, sedangkan pada hari lainnya dilakukan pengeringan (irigasi dimatikan).

Dalam penelitian ini, tabung mariot tidak hanya berfungsi sebagai *reservoir* irigasi di mana pengalirannya menggunakan sistem irigasi bawah permukaan, tetapi juga sebagai pengatur tinggi muka air (Gambar 2). Tinggi muka air di pot akan sejajar dengan tinggi lubang udara mariot yang sedang dibuka.

3.2. Model Neraca Air

Masukan air di pot berasal dari hujan dan irigasi, sedangkan keluaran air berupa *run off*. Perkolasi tidak terjadi pada penelitian ini. Oleh karena itu, persamaan neraca airnya mengikuti persamaan berikut (Setiawan *et al.*, 2014):

$$\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{P+Q-K_c \cdot ET_0-RO}{\Delta Z} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

$\Delta\theta$: perubahan kelembaban tanah (m^3/m^3)

Δt : perubahan waktu (hari)

P : hujan (mm/hari)

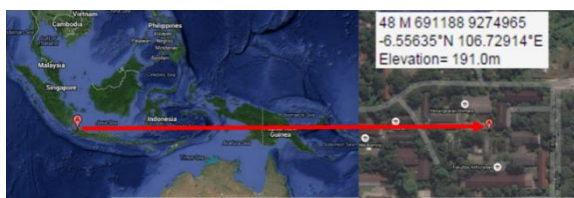
Q : irigasi(mm/hari)

K_c : koefisien tanaman

ET_0 : evapotranspirasi potensial (mm/hari)

RO : *run off* (mm/hari)

ΔZ : kedalaman zona perakaran (mm)



(a)



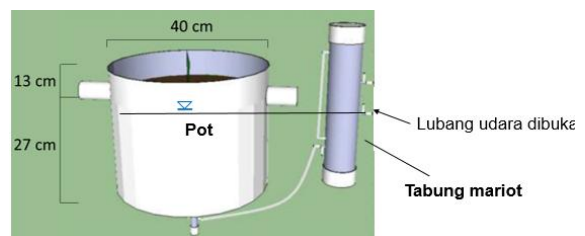
(b)

Gambar 1 (a) Lokasi Penelitian ;
(b) Kegiatan Penanaman Padi

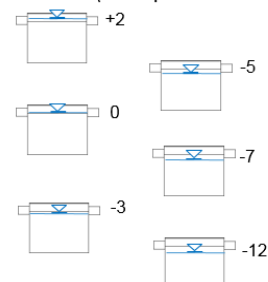
Variabel P didapat dari hasil pengukuran secara kontinyu setiap 30 menit selama 24 jam di lokasi penelitian menggunakan sensor ECRN-50. Variabel θ merupakan hasil pengukuran secara kontinyu pula setiap 30 menit selama 24 jam di lokasi penelitian menggunakan Sensor5-TE yang diletakkan secara horizontal pada kedalaman 5 cm di bawah permukaan tanah. Sensor 5-TE tersebut juga mengukur parameter T_{soil} secara bersamaan.

Tabel 1 Karakteristik Tanah

Parameter	Unit	Besaran
Pasir	%	27
Debu	%	62
Liat	%	11
Bulk Density	g/cc	0,55
Particle Density	g/cc	2,05
Pori Drainase Cepat	% Volume	45,5
Pori Drainase Lambat	% Volume	6,4
Ruang Pori Total	% Volume	73
Kadar Air	% Volume	31,4
Air Tersedia	% Volume	7,8
Perkolasi	cm/jam	5,55
Permeabilitas	cm/jam	62,14
Kadar Air		
pF 1	% Volume	71,0
pF 2	% Volume	27,5
pF2.54	% Volume	21,1
pF 4.2	% Volume	13,3



SETPOINT (cm dari permukaan tanah)



Gambar 2 Pengendalian Tinggi Muka Air di Pot

Nilai Q didapat dengan cara mengukur perubahan ketinggian air di mariot kemudian dilakukan perhitungan berikut:

$$Q = \frac{\Delta h_{\text{air mariot}} \times A_{\text{sm}}}{A_{\text{sp}}} \dots\dots\dots (2)$$

dimana $\Delta h_{\text{air mariot}}$ adalah perubahan tinggi muka air mariot (mm), A_{sm} adalah luas permukaan mariot (m^2), dan A_{sp} adalah luas pot (m^2).

Variabel RO pada neraca air tidak mudah diukur. Oleh karena itu, variabel RO merupakan hasil optimasi menggunakan *Microsoft Excel Solver*. Untuk nilai ET_0 dihitung berdasarkan data temperatur udara yang terukur secara kontinyu oleh sensor suhu dan kelembaban udara di lokasi penelitian. Perhitungan tersebut mengikuti model Hargreaves berikut (Allen *et al.* 2006):

$$ET_0 = 0,000938 R_a (T_{\text{maks}} - T_{\text{min}})^{1/2} (T_{\text{rata-rata}} + 17,8) \dots\dots (3)$$

dimana R_a adalah radiasi ekstraterrestrial ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$), T_{maks} adalah suhu harian maksimum ($^{\circ}\text{C}$), T_{min} adalah suhu harian minimum ($^{\circ}\text{C}$), dan $T_{\text{rata-rata}}$ adalah suhu harian rata-rata ($^{\circ}\text{C}$). Dalam hal ini, nilai R_a didapatkan dari persamaan-persamaan berikut (Allen *et al.* 2006):

$$R_a = 37,6 d_r (\omega_s \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \sin \omega_s) \dots\dots (4)$$

$$d_r = 1 + 0,033 \cos(0,0172J) \dots\dots\dots (5)$$

$$\omega_s = \arccos\{-\tan \phi \tan \delta\} \dots\dots\dots (6)$$

$$\phi = \frac{\pi}{180} \dots\dots\dots (7)$$

$$\delta = 0,409 \sin(0,0172J - 1,39) \dots\dots\dots (8)$$

dimana J adalah urutan hari sesuai dengan kalender Julian dan L adalah posisi lintang (Lintang Utara diberi tanda positif dan Lintang Selatan diberi tanda negatif).

3.3. Penentuan Nilai Kc

Modifikasi persamaan neraca air dilakukan pada penelitian ini untuk menghitung nilai K_c . Nilai P pada lokasi penelitian sama, sehingga didapatkan persamaan penentuan K_c dari modifikasi persamaan neraca air sebagai berikut:

$$\frac{\Delta_1}{\Delta t} \cdot Z - Q_1 + K_{c_1} \cdot ET_0 + RO_1 = P \dots\dots\dots (9)$$

$$\frac{\Delta_2}{\Delta t} \cdot Z - Q_2 + K_{c_2} \cdot ET_0 + RO_2 = P \dots\dots\dots (10)$$

$$K_{c_2} \cdot ET_0 - K_{c_1} \cdot ET_0 = \frac{\Delta_1}{\Delta t} \cdot Z - \frac{\Delta_2}{\Delta t} \cdot Z - Q_1 + Q_2 + RO_1 - RO_2 \dots\dots (11)$$

$$K_{c_2} = \frac{\frac{\Delta_1}{\Delta t} \cdot Z - \frac{\Delta_2}{\Delta t} \cdot Z - Q_1 + Q_2 + RO_1 - RO_2}{ET_0} + K_{c_1} \dots\dots\dots (12)$$

Dalam hal ini, nilai K_c pada suatu perlakuan (K_{c_2}) akan terkait dengan nilai K_c perlakuan lain (K_{c_1}). Untuk penentuan K_c perlakuan pertama digunakan nilai K_c inisial (angka bernilai bebas)

sebagai K_{c_1} . Pada perhitungan perlakuan lain, nilai K_{c_1} merupakan hasil perhitungan K_{c_2} sebelumnya. Menurut Sofiyuddin *et al.* (2012), hasil dari perhitungan nilai K_c pada keseluruhan perlakuan kemudian dapat diolah lebih lanjut menggunakan Kalman Filter untuk mempermudah analisis.

Rudiyanto *et al.* (2006) menyatakan bahwa pada pengolahan data menggunakan Kalman Filter perlu ditentukan terlebih dahulu nilai jumlah data (N), kovarian gangguan pada proses (Q), dan kovarian gangguan pada data (R). Untuk pengolahan data K_c pada penelitian ini, N yang digunakan adalah 106 data K_c per perlakuan, sedangkan Q dan R yang digunakan adalah 0,000002 dan 0,001.

3.4. Uji Karakteristik Perubahan Pertumbuhan Tanaman

Karakteristik perubahan pertumbuhan tanaman dilihat pada saat pertumbuhan padi dan saat menjelang panen, baik pada ujicoba skala pot maupun skala lapang.

Pada saat pertumbuhan tanaman, karakteristik yang diuji meliputi (Kaderi, 2004):

1. Tinggi tanaman
Tinggi tanaman padi diukur mulai dari pangkal batang di atas permukaan tanah hingga ujung daun tertinggi. Pengamatan dilakukan secara rutin setiap 3 hari sekali.
2. Jumlah anakan tanaman padi tiap rumpun
Anakan dihitung dengan cara menghitung jumlah anakan tanaman padi yang tumbuh dari batang padi utama. Pengamatan dilakukan secara rutin setiap 3 hari sekali.
3. Jumlah anakan tanaman padi produktif
Jumlah anakan tanaman padi produktif dihitung berdasarkan jumlah anakan tanaman padi yang menghasilkan malai dan bulir padi. Perhitungan dilakukan satu minggu sebelum panen.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Parameter Fisik Tanah pada Berbagai Perlakuan Muka Air

Penerapan muka air yang berbeda pada aktivitas budidaya padi memberikan pengaruh pada fluktuasi parameter fisik tanah, antara lain parameter kelembaban tanah (θ) dan temperatur tanah (T_{soil}). Fluktuasi kedua parameter tersebut terlihat pada Gambar 3.

Pemantauan nilai θ harian penting dilakukan mengingat nilai tersebut dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman padi (Arif *et al.*, 2014) dan sangat bergantung dengan jumlah suplai dan ketersediaan air yang dalam hal ini dicerminkan

oleh nilai muka air yang diterapkan (Gajanayake *et al.*, 2014).

Kondisi ketersediaan air dapat diketahui dengan membandingkan nilai θ pengukuran dengan hasil uji karakteristik tanah. Dari data hasil uji karakteristik tanah (Tabel 1) diketahui bahwa kondisi tanah jenuh sebelum terjadinya *air entry* terjadi pada saat $\theta > 0,275 \text{ m}^3/\text{m}^3$. Kondisi air tersedia bagi tanaman berada saat θ ada pada rentang $0,211\text{-}0,133 \text{ m}^3/\text{m}^3$. Kondisi layu permanen dapat terjadi apabila $\theta < 0,133 \text{ m}^3/\text{m}^3$.

Pada 7-40 HST, perlakuan pengaturan muka air dilakukan sesuai dengan *set point*. Kondisi yang terjadi pada seluruh perlakuan adalah kondisi jenuh dan air tersedia bagi tanaman, terlihat dari nilai $\theta > 0,133$. Pengeringan kemudian dilakukan menjelang fase generatif berlangsung, yakni pada 41-47 HST pada seluruh perlakuan. Pada saat ini, pengaturan muka air tidak dilakukan dan irigasi dimatikan. Dalam hal ini, suplai air pada tanaman hanya berasal dari hujan. Oleh karena itu, nilai θ lebih rendah dari fase sebelumnya.

Penggenangan dilakukan kembali pada 48-90 HST. Kondisi kekurangan air terjadi pada perlakuan muka air -12 cm (59-62 HST) dan -7 cm (61-62 HST). Kondisi tersebut tidak berlangsung lebih dari 4 hari, sehingga tanaman masih dapat bertahan dan tidak mengalami layu permanen. Hal ini dapat terjadi karena padi memiliki kemampuan adaptasi terhadap kekeringan, baik berupa pengurangan luas permukaan daun, kemampuan menembus lapisan tanah paling dalam, melindungi meristem akar dari kekeringan, dan mengatur bukaan stomata (Lestari, 2006). Selain itu, Maisura *et al.*, (2014) juga menambahkan bahwa varietas Ciherang juga memiliki mekanisme toleransi melalui akumulasi prolin yang lebih lama selama mengalami stres akibat kekeringan, sehingga potensi osmotik akan menurun dan padi dapat tetap bertahan dalam fase pertumbuhan. Pengeringan kemudian dilakukan kembali hingga panen untuk keperluan pematangan bulir.

Menurut Nobel dan Geller (1987), nilai θ tanah dapat mempengaruhi parameter termal yang ada di tanah, salah satunya T_{soil} . Pada penelitian ini, nilai T_{soil} juga dipantau setiap harinya. Hal ini penting dilakukan karena temperatur tanah dapat mempengaruhi proses fotosintesis tanaman yang dapat berimplikasi pada kondisi pertumbuhan tanaman Arai-Sanoh *et al.* (2010).

Menurut Arai-Sanoh *et al.* (2010), laju fotosintesis dapat meningkat pada temperatur tanah lebih dari 32°C . Temperatur yang cukup tinggi tersebut terbukti mampu meningkatkan laju fotosintesis

apabila hanya berlaku dalam jangka waktu pendek karena pada kondisi tersebut pengambilan air dan nitrogen oleh tanaman menjadi lebih baik akibat konduktansi difusi yang lebih tinggi dan peningkatan konsentrasi nitrogen di daun. Pada penelitian ini, temperatur tanah tinggi tersebut hanya berlangsung paling lama 10 hari pada perlakuan -12 cm dari permukaan tanah. Selain itu, Arai-Sanoh *et al.*, (2010) juga menambahkan bahwa temperatur tanah yang lebih rendah dari 25°C pada tanah tergenang kurang tepat bagi pertumbuhan tanaman padi. Hal ini dikarenakan pada temperatur tersebut rilis amonia, fosfat, dan silika sangat buruk. Pada penelitian ini, kejadian di perlakuan +2 cm dari permukaan tanah tersebut hanya terjadi pada 11 HST.

Hasil penelitian ini secara umum menunjukkan bahwa semakin tinggi muka air yang diterapkan pada budidaya padi, maka semakin tinggi nilai θ . Oleh karena itu, nilai T_{soil} menjadi semakin rendah. Nilai T_{soil} pada penelitian secara umum telah memenuhi kebutuhan pertumbuhan padi secara optimal, yakni berada di dalam rentang 20°C dan 40°C (Abdullahi *et al.*, 2013). Oleh karena itu, pertumbuhan tanaman dapat berlangsung dengan baik tanpa mengalami cekaman temperatur. Namun, nilai θ yang jauh berbeda pada seluruh perlakuan memberikan pengaruh pada pertumbuhan tanaman (Arif *et al.*, 2014). Hal tersebut terlihat pada Gambar 4, khususnya pada jumlah anakan yang terbentuk.

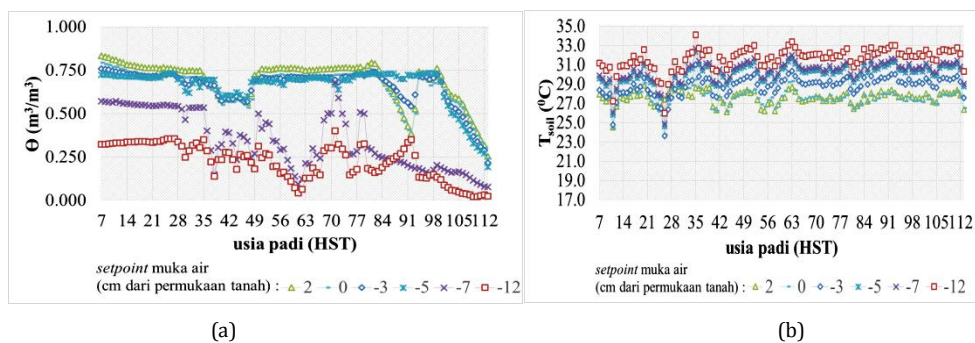
Tanah di pot penelitian berada pada kondisi sangat jenuh pada saat $\theta \geq 0,71$. Secara umum, θ pada perlakuan muka air -12, -7, dan -5 cm dari permukaan tanah (8-71 HST) menunjukkan nilai di bawah 0,71. Hal ini mengindikasikan pada perlakuan muka air tersebut, aerasi di tanah masih dapat terjadi dengan cukup baik sehingga pembentukan anakan terjadi dengan baik yang ditandai dengan jumlah anakan yang tinggi pada ketiga perlakuan tersebut. Menurut Kasli dan Effendi (2012), perkembangan anakan tanaman padi membutuhkan air yang cukup dan kondisi tanah dalam keadaan aerob dan akar berkembang dengan baik. Hal ini dikarenakan pada kondisi jenuh, akar yang tidak berkembang dengan baik dan akan terbatas dalam mengambil nutrisi dari tanah akibat adanya aerenkim yang terbentuk pada korteks akar yang berfungsi untuk memasok oksigen dari atmosfer sebagai bentuk mekanisme adaptasi terhadap lingkungan anaerobik.

Hubungan antara muka air tanah yang diterapkan dan kelembaban tanah yang terjadi dapat terlihat pada Gambar 5. Dari grafik-grafik tersebut terlihat bahwa besar koefisien determinasi dari perlakuan

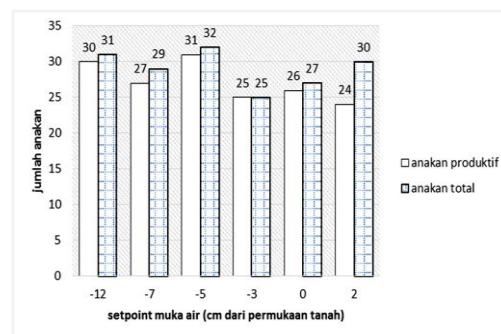
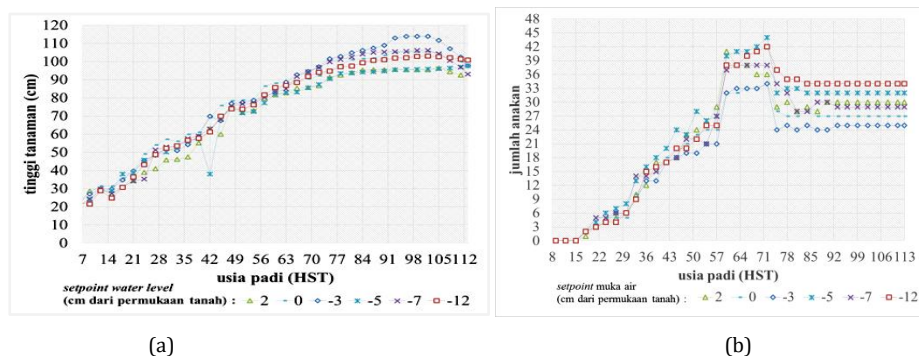
muka air tanah dan kelembaban tanah adalah 0,4649-0,6931. Hal ini berarti peningkatan perlakuan air tanah memberikan pengaruh sebesar 46,49% - 69,31% terhadap kelembaban tanah. Keseluruhan persamaan pada Gambar 5 menunjukkan adanya nilai positif di variabel x. Hal ini menandakan bahwa muka air yang diterapkan (pada sumbu x) berbanding lurus dengan kelembaban tanah yang terjadi. Hal ini dikarenakan nilai θ merupakan rasio antara volume air dengan volume total sampel tanah, sehingga semakin tinggi muka air maka volume air semakin besar dan θ -nya juga meningkat (Gajanayake *et al.*, 2014).

Hubungan antara muka air tanah yang diterapkan dan temperatur tanah yang terjadi dapat terlihat

pada Gambar 6. Dari grafik-grafik tersebut terlihat bahwa besar koefisien determinasi dari perlakuan muka air tanah dan temperatur tanah adalah 0,4091-0,8661. Hal ini berarti peningkatan perlakuan air tanah memberikan pengaruh sebesar 40,91% - 86,61 % terhadap kelembaban tanah. Keseluruhan persamaan pada Gambar 6 menunjukkan adanya nilai negatif di variabel x. Hal ini menandakan bahwa muka air yang diterapkan (pada sumbu x) berbanding terbalik dengan temperatur tanah yang terjadi. Hal ini dapat terjadi karena semakin rendah muka air yang diterapkan, maka akan semakin kering tanah dan temperaturnya akan semakin meningkat. Oleh karena itu, pada budidaya yang menerapkan muka air lebih tinggi, T_{soil} akan relatif lebih rendah (Nobel dan Geller, 1987).

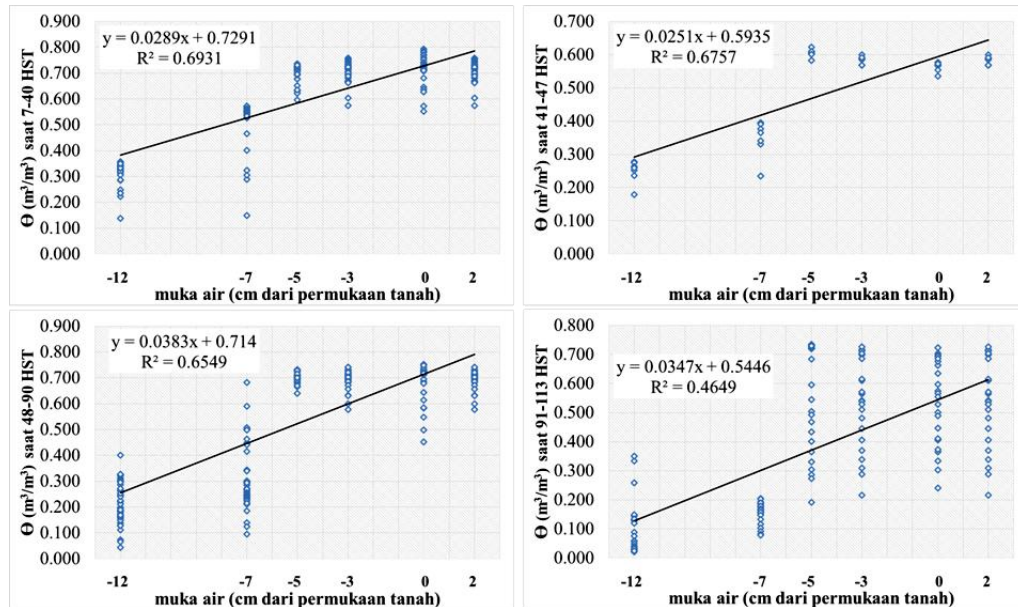


Gambar 3 Fluktuasi parameter fisik pada 7-113 HST: (a) θ ; (b) T_{soil}

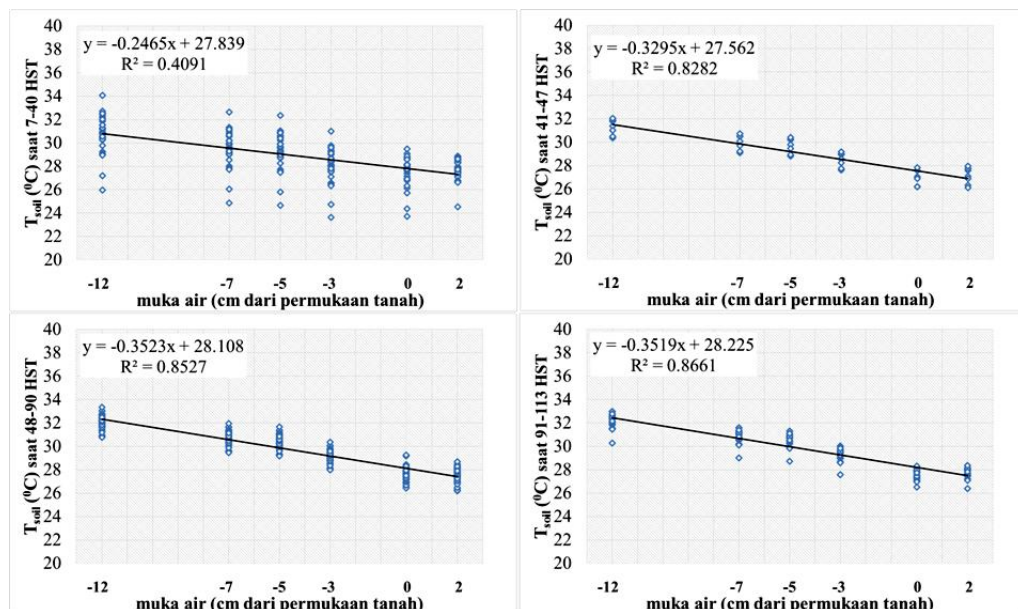


(c)

Gambar 4 Parameter Pertumbuhan Tanaman: (a) Penambahan Tinggi Tanaman; (b) Jumlah Anakan pada Berbagai Perlakuan Muka Air; (c) Jumlah Anakan Keseluruhan dan Anakan Produktif saat Akhir Musim Tanam



Gambar 5 Hubungan Antara Muka Air Tanah yang Diterapkan dan Θ yang Terjadi



Gambar 6 Hubungan Antara Muka Air Tanah yang Diterapkan dan T_{soil} yang Terjadi

4.2. Koefisien Tanaman pada Budidaya Padi dengan Berbagai Perlakuan Muka Air

Koefisien tanaman (K_c) padi sangat diperlukan untuk dapat mengetahui jumlah air yang tepat untuk disuplai di lahan budidaya. Jumlah air tersebut diharapkan sesuai dengan nilai evapotranspirasi yang sebenarnya terjadi di lahan ET_c , yang merupakan sumber kehilangan air terbesar di lahan budidaya (Arif *et al.*, 2012a). Pada penelitian ini, nilai K_c tersebut diketahui

melalui perhitungan dengan metode neraca air modifikasi.

Nilai ET_c nantinya dapat diketahui dengan mengalikan K_c dan ET_0 yang secara umum dapat diestimasi menggunakan persamaan FAO Penman-Monteith. Persamaan ET_0 tersebut membutuhkan data meteorologi yang meliputi temperatur udara, kelembaban relatif udara, kecepatan angin, dan radiasi matahari. Pada penelitian ini, data meteorologi tersebut tidak

didapat secara lengkap. Oleh karena itu, nilai ET_0 pada penelitian dihitung menggunakan persamaan Hargreaves yang sangat disarankan oleh Allen *et al.* (2006) untuk mengatasi permasalahan keterbatasan data.

Pada penelitian ini, nilai evapotranspirasi yang terjadi merupakan gabungan dari nilai evaporasi dan transpirasi. Dalam analisis hasil perhitungan, pengaruh kedua proses tersebut tidak dipisahkan. Hal ini dikarenakan kedua proses tersebut terjadi secara bersamaan dan belum ada cara yang mudah untuk membedakannya (Allen *et al.*, 2006)

Hasil perhitungan nilai K_c harian pada keseluruhan perlakuan menggunakan persamaan neraca air modifikasi sangat fluktuatif dan mengandung banyak gangguan. Oleh karena itu, hasil dari perhitungan nilai K_c tersebut kemudian diolah menggunakan Kalman Filter untuk mempermudah analisis.

Proses analisis pada penelitian ini menghasilkan nilai koefisien tanaman (K_c) harian, seperti yang terlihat pada Gambar 7. Nilai K_c tersebut berfluktuasi tergantung pada kondisi iklim dan cuaca. Selain itu, usia tanaman juga mempengaruhi nilai K_c karena terkait dengan fase pertumbuhan tanaman yang terjadi (Wahyudi *et al.*, 2014). Fase pertumbuhan tanaman pada penelitian ini dibagi menjadi empat fase pertumbuhan yang berbeda. Fase tersebut meliputi *initial season*, *crop development*, *mid-season*, dan *late season*.

Nilai K_c pada seluruh perlakuan secara umum relatif rendah di fase *initial season* dan *crop development*. Nilai tersebut kemudian meningkat pada fase *mid-season* dan mencapai nilai maksimum pada akhir fase. Pada fase terakhir (*late season*), nilai K_c tersebut menurun kembali. Pola fluktuasi K_c yang sama juga terjadi pada penelitian-penelitian lain (Allen *et al.*, 2006, Sofiyuddin *et al.*, 2012). Namun, hasil penelitian ini dapat lebih rinci dalam menunjukkan fluktuasi dan besaran nilai K_c tanaman padi harian pada berbagai muka air yang diterapkan petani karena metode budidaya padi yang dilakukan sama, hanya perlakuan yang berbeda hanya penerapan muka air saja.

Hasil uji statistik Turkey pada data menunjukkan bahwa nilai K_c pada fase *initial season* dan *crop development* di seluruh perlakuan tidak berbeda nyata (Tabel 3). Kedua fase tersebut merupakan fase vegetatif dari pertumbuhan tanaman.

Fase vegetatif tanaman yang diawali dengan *initial season* berlangsung hingga 29 HST. Pada fase ini,

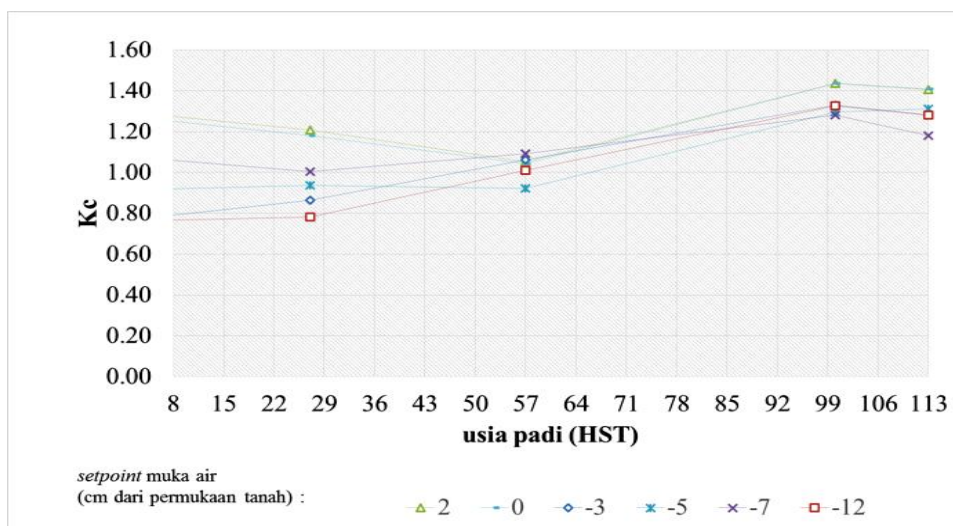
luas daun tanaman tidak besar, sehingga nilai evapotranspirasi terbesar berasal dari nilai evaporasi tanah. Nilai K_c tertinggi di fase *initial season* terdapat pada perlakuan muka air 0 dan +2 cm dari permukaan tanah. Hal ini dikarenakan nilai evaporasi tinggi pada permukaan tanah yang basah, baik karena irigasi maupun hujan (Allen *et al.*, 2006).

Pada fase *crop development* yang merupakan fase vegetatif lanjutan, nilai K_c pada fase *crop development* tidak hanya dipengaruhi oleh evaporasi tanah, tetapi juga transpirasi tanaman yang besarnya selaras dengan perkembangan pertumbuhan tanaman yang dapat terlihat dari jumlah anakan yang terbentuk (Allen *et al.*, 2006). Jumlah anakan tertinggi ada pada perlakuan yang permukaan tanahnya cenderung kering, sehingga transpirasinya tinggi namun evaporasi tanah rendah. Hal ini mengakibatkan nilai K_c hasil perhitungan tidak jauh berbeda pada keseluruhan perlakuan pada fase ini.

Nilai K_c di seluruh perlakuan tersebut kemudian terlihat berbeda nyata dengan nilai K_c pada fase generatif pertumbuhan tanaman (*mid-season* dan *late-season*). Menurut Dunand dan Saichuk (2014), hal ini dapat terjadi karena pada fase vegetatif dan generatif terkait dengan pertumbuhan dan perkembangan pada bagian yang berbeda di tanaman. Fase vegetatif berkonsentrasi pada pertumbuhan dan perkembangan tanaman dari benih hingga awal terbentuknya malai di batang utama, sementara pada fase generatif berkonsentrasi pada pertumbuhan dan perkembangan tanaman dari akhir fase vegetatif yang terkonsentrasi di bagian batang utama hingga pematangan dari gabah yang ada di seluruh malai yang ada.

Pada fase *mid-season* proses pembentukan dan pengisian bulir terjadi secara intensif, terlihat pada jumlah anakan produktif yang terbentuk hingga akhir musim (Gambar 4c). Nilai K_c tertinggi ada pada perlakuan muka air yang memiliki jumlah anakan produktif tertinggi, yakni -12 dan -5 cm dari permukaan tanah.

Pada fase *late season*, nilai K_c secara umum menurun. Hal ini dikarenakan pada fase ini terjadi proses pengeringan guna memenuhi kebutuhan pematangan bulir. Pada fase ini evaporasi tetap terjadi, sementara transpirasi tetap terjadi walaupun tidak seintensif yang terjadi pada fase lain karena mekanisme pembukaan stomata untuk keperluan respirasi tetap terjadi (Allen *et al.*, 2006).



Gambar 7 Nilai Kc di Berbagai Perlakuan Muka Air

Tabel 2 Nilai Kc Rata-rata pada Keseluruhan Fase di Berbagai Perlakuan Muka Air

Fase	setpoint muka air (cm dari permukaan tanah)					
	-12		-7		-5	
	rentang nilai	rata-rata	rentang nilai	rata-rata	rentang nilai	rata-rata
<i>initial season</i>	0,76 - 0,78	0,77	1,08 - 1,00	0,99	0,91 - 0,94	1,00
<i>crop development</i>	0,78 - 1,01	0,90	1,00 - 1,09	1,11	0,94 - 0,92	0,94
<i>mid-season</i>	1,01 - 1,33	1,30	1,09 - 1,28	1,38	0,92 - 1,30	1,10
<i>late season</i>	1,33 - 1,28	1,23	1,28 - 1,18	1,17	1,30 - 1,31	1,35

Fase	setpoint muka air (cm dari permukaan tanah)					
	-3		0		2	
	rentang nilai	rata-rata	rentang nilai	rata-rata	rentang nilai	rata-rata
<i>initial season</i>	0,76 - 0,87	0,82	1,28 - 1,18	1,23	1,30 - 1,21	1,27
<i>crop development</i>	0,87 - 1,06	0,98	1,18 - 1,04	1,09	1,21 - 1,05	1,10
<i>mid-season</i>	1,06 - 1,33	1,39	1,04 - 1,44	1,23	1,05 - 1,44	1,23
<i>late season</i>	1,33 - 1,28	1,23	1,44 - 1,41	1,40	1,44 - 1,41	1,40

Tabel 3 Uji Beda Nyata pada Nilai Kc Berbagai Perlakuan Muka Air di Tiap Fase Pertumbuhan Tanaman Padi

setpoint muka air (cm dari permukaan tanah)	Rata-Rata Kc pada Tiap Fase			
	<i>initial season</i>	<i>crop development</i>	<i>mid-season</i>	<i>late season</i>
-12	0,77	0,90	1,30	1,23
-7	0,99	1,11	1,38	1,17
-5	1,00	0,94	1,10	1,35
-3	0,82	0,98	1,39	1,23
0	1,23	1,09	1,23	1,40
2	1,27	1,10	1,23	1,40
Rata-rata	1,01a	1,02a	1,27b	1,30b

Keterangan: Nilai rata-rata yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan

Nilai K_c harian tanaman padi pada berbagai perlakuan muka air ini kemudian dapat dijadikan rujukan dalam praktek tanam padi oleh petani. Petani dapat memilih muka air yang akan diterapkan di lahan berdasarkan ketersediaan air di wilayah lahan budidaya mereka sesuai dengan jumlah kebutuhan air irigasinya.

Manajemen air yang baik oleh petani juga diharapkan dapat dilakukan dengan memanfaatkan hasil evaluasi nilai K_c pada berbagai perlakuan muka air ini. Menurut Sujono *et al.* (2011), manajemen air yang baik tersebut meliputi kemampuan dalam mengendalikan muka air di lahan yang dapat menghasilkan hasil padi yang optimal dengan memanfaatkan persediaan air yang terbatas.

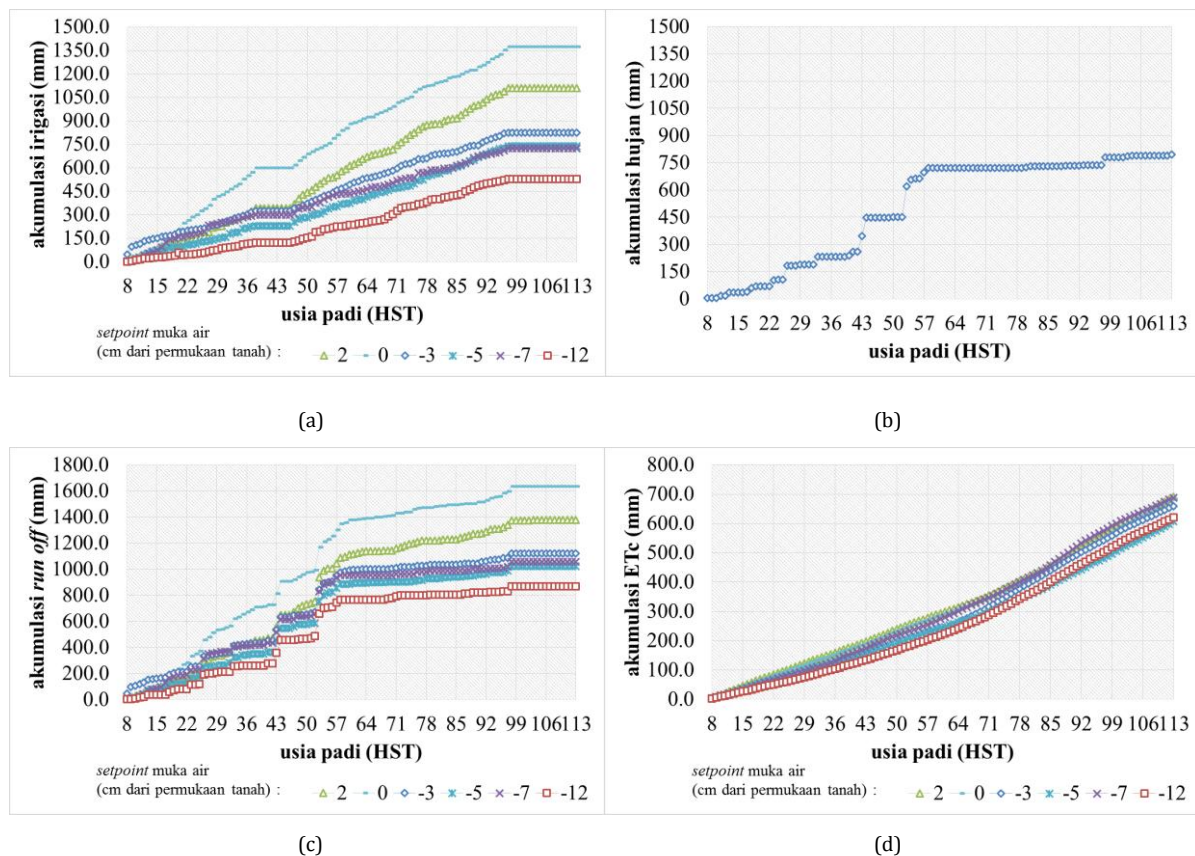
4.3. Neraca Air pada Budidaya Padi di Berbagai Penerapan Muka Air

Irigasi, presipitasi, evapotranspirasi tanaman, dan *run off* akumulasi selama satu musim tanam terlihat pada Gambar 8. Neraca air pada keseluruhan perlakuan muka air cukup baik (Gambar 9), terlihat dari persentase ketepatan

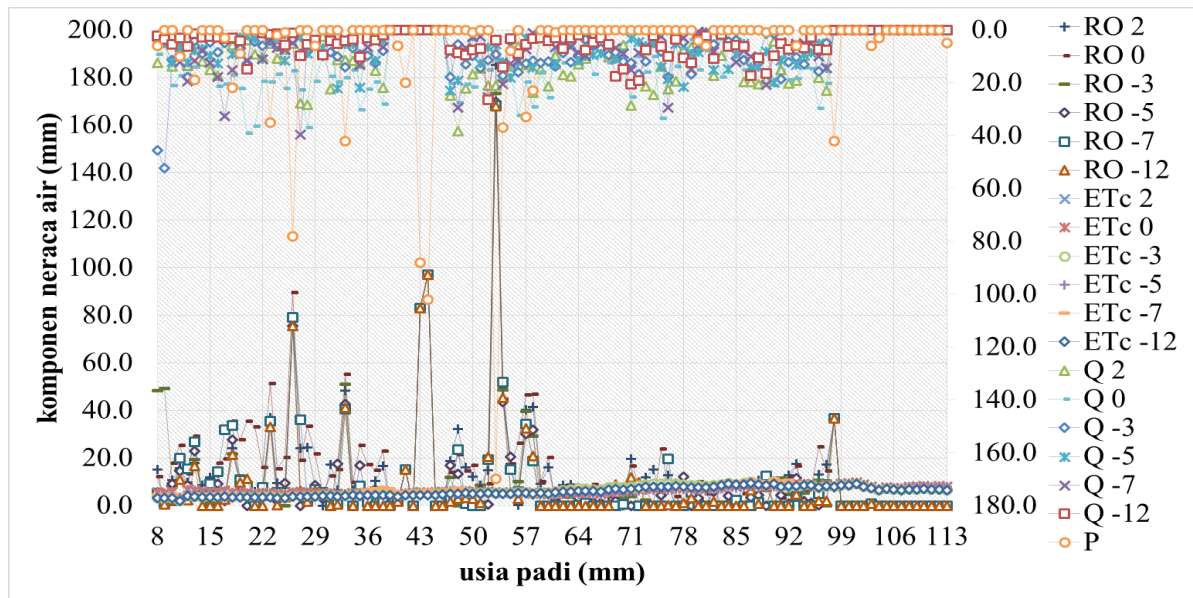
estimasi yang lebih dari 85% pada seluruh perlakuan (Tabel 4).

Secara umum, besarnya nilai evapotranspirasi sebanding dengan tingginya muka air yang diterapkan saat budidaya padi. Hal ini dikarenakan semakin tinggi muka air, maka semakin banyak air yang tersedia di lahan yang memungkinkan untuk terevapotranspirasi. Ketika nilai evapotranspirasi yang menandakan jumlah konsumsi air meningkat, maka suplai air yang dibutuhkan akan semakin tinggi. Oleh karena itu, secara umum kebutuhan irigasi tertinggi terjadi ada apa praktek penerapan muka air tertinggi. Dalam penelitian ini, jumlah irigasi tertinggi tidak berada pada perlakuan muka air tertinggi. Perbedaan jumlah irigasi tersebut dapat terjadi karena adanya bocoran pada sistem.

Rata-rata irigasi pada seluruh perlakuan adalah 4,99 mm/hari - 12,95. Nilai tersebut menyumbang 39,96% - 63,32% dari total suplai air ke lahan. Dari keseluruhan suplai air yang dilakukan, sebesar 31,57% - 46,8% terevapotranspirasi, sisanya mengalir berupa *run off* dan hilang karena bocoran.



Gambar 8 Komponen Neraca Air: (a) Irigasi; (b); Hujan; (c) Run Off; (d) $E_t c$



Gambar 9 Fluktuasi Komponen Neraca Air

Tabel 4 Neraca Air pada Berbagai Perlakuan Muka Air

variabel neraca air	setpoint muka air (cm dari permukaan tanah)					
	-12	-7	-5	-3	0	2
Suplai:						
Irigasi (mm)	529,1	723,7	740,0	824,7	1372,7	1110,6
Presipitasi (mm)	795	795	795	795	795	795
Total suplai (mm)	1324,1	1518,7	1535,0	1619,7	2167,7	1905,6
Konsumsi:						
Evapotranspirasi tanaman (mm)	619,7	687,6	606,4	659,2	684,4	690,5
Run off (mm)	867,6	1058,2	1024,2	1122,7	1635,9	1377,0
Total konsumsi (mm)	1487,2	1745,9	1630,6	1782,0	2320,3	2067,5
%kesalahan antara total suplai dan konsumsi	12,32%	14,96%	6,23%	10,02%	7,04%	8,50%
%ketepatan antara total suplai dan konsumsi	87,68%	85,04%	93,77%	89,98%	92,96%	91,50%

V. KESIMPULAN

Perlakuan muka air pada budidaya padi memberikan pengaruh pada fluktuasi nilai parameter fisik tanah, khususnya nilai θ dan T_{soil} . Kondisi fisik tanah yang berbeda akibat perlakuan muka air tersebut mampu memberikan pengaruh pada pertumbuhan tanaman yang terjadi dan peluang terjadinya evapotranspirasi, sehingga nilai K_c pada setiap perlakuan muka air juga berbeda. Nilai K_c pada berbagai penerapan muka air di lokasi yang sama dapat diestimasi dengan mudah menggunakan metode neraca air modifikasi. Nilai K_c tiap perlakuan muka air tidak berbeda secara signifikan dan secara umum memiliki nilai yang relatif rendah pada fase *initial*

season dan *crop development*. Nilai tersebut kemudian meningkat pada fase *mid-season* dan mencapai nilai maksimum pada akhir fase. Pada fase terakhir (*late season*), nilai K_c tersebut menurun kembali. Dalam hal ini, perhitungan nilai K_c dengan memodifikasi persamaan neraca air dapat dilakukan dengan baik, terbukti dari persentase ketepatan estimasi yang lebih dari 85% pada seluruh perlakuan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Direktorat Pendidikan Tinggi yang telah mendanai riset ini melalui skema Penelitian Bagi Pendidikan Magister Menuju Doktor untuk Sarjana Unggul.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullahi, A.S., M.A.M. Soom, D. Ahmad, A.R.M. Shariff. 2013. Characterization of rice (*Oryza sativa*) evapotranspiration using micro paddy lysimeter and class "A" pan in tropical environments. *Australian Journal of Crop Science*, Vol. 7(5): 650.
- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, M. Smith. 1998. *Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements-FAO Irrigation and Drainage Paper 56*. Rome (IT): Food and Agriculture Organization of the United Nations. 293.
- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, M. Smith. 2006. *FAO Irrigation And Drainage Paper No. 56: Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements)*. Rome (IT): FAO of UN. 42-64.
- Arai-Sanoh, Y., T. Ishimaru, A. Ohsumi, M. Kondo. 2010. Effects of soil temperature on growth and root function in rice. *Plant Production Science*, Vol. 13: 239-240.
- Arif, C., B.I. Setiawan., H.A. Sofiyuddin, L.M. Martief, Mizoguchi M, Doi R. 2012. Estimating crop coefficient in intermittent irrigation paddy fields using excel solver. *Rice Science*, Vol. 19(2): 143.
- Arif, C., B.I. Setiawan, Mizoguchi M. 2014. Penentuan kelembaban tanah optimum untuk budidaya padi sawah SRI (System of Rice Intensification) menggunakan algoritma genetika. *Jurnal Irigasi*, Vol. 9(1): 36-37.
- Dunand, R, J. Saichuk. 2014. Rice growth and development. Dalam J. Saichuk. *Louisiana Rice Production Handbook* (h. 34). Crowley (US): LSU Agricultural Center.
- Gajanayake, K.R. Reddy, M.W. Shankle, R.A. Arancibia. 2014. Growth, developmental, and physiological responses of two sweet potato (*Ipomoea batatas* L. [Lam]) cultivars to early season soil moisture deficit. *Scientia Horticulturae*, 168:219.
- Gao, Y, A. Duan, J. Sun, F. Li, Z. Liu, H. Liu, Z. Liu. 2009. Crop coefficient and water-use efficiency of winter wheat/spring maize strip inter cropping. *Field Crop Research*, 111: 66.
- Kaderi, H. 2004. *Pengamatan Percobaan Bahan Organik Terhadap Tanaman Padi di Rumah Kaca* [Prosiding]. Bogor (ID): Temu Teknis Nasional Tenaga Fungsional Pertanian Tahun 2004, Pusat Penelitian dan Pengembangan Peternakan. 165-166.
- Kar, G., A. Kumar, M. Martha. 2007. Water use efficiency and crop coefficients of dry season oil seed crops. *Agricultural Water Management*, 87: 74.
- Kasli, A.R.A. Effendi. 2012. Effect of various high puddles on the growth of aerenchyma and the growth of rice plants (*Oryza sativa* L) in pot. *Pakistan Journal of Nutrition*, Vol. 11(5): 465.
- Lestari, E.G. 2006. Hubungan antara kerapatan stomata dengan ketahanan kekeringan pada Somaklon Padi Gajahmungkur, Towuti, dan IR 64. *Biodiversitas*, Vol. 7(1): 44.
- Li Y., J. Simunek, L. Jing, Z. Zhang, L. Ni. 2014. Evaluation of water movement and water losses in adirect-seeded-rice field experiment using Hydrus-1D. *Agricultural Water Management*, 142: 39.
- Maisura, M.A. Chozin, I. Lubis, A. Junaedi, H. Ehara. 2014. some physiological character responses of rice under drought conditions in a paddy system. *J. ISSAAS*, Vol. 20(1): 110.
- Nobel, P.S., G.N. Geller. 1987. Temperature modelling of wet and dry desert soils. *Journal of Ecology*, Vol. 75(1): 248.
- Petillo, M.G., J.R. Castel. 2007. Water balance and crop coefficient estimation of a citrus orchard in Uruguay. *Spanish Journal of Agricultural Research*, Vol. 5(2): 232.
- Rudiyanto, B.I. Setiawan, S.K. Saptomo. 2006. Algoritma Filter Kalman Untuk Menghaluskan Data Pengukuran. *Jurnal Keteknik Pertanian*, Vol. 20(3): 288.
- Setiawan, B.I., A. Irmansyah, C. Arif, T. Watanabe, M. Mizoguchi, H. Kato. 2014. SRI paddy growth and GHG emissions at various groundwater levels. *Irrigation and Drainage*, Vol. 63(5): 3.
- Sofiyuddin, H.A., L.M. Martief, B.I. Setiawan, C. Arif. 2010. Evaluation of crop coefficients from water consumption in paddy fields [paper]. Yogyakarta (ID): 6th Asian Regional Conference. 8.
- Sofiyuddin, H.A., L.M. Matrief, B.I. Setiawan, C. Arif. 2012. Evaluasi koefisien tanaman padi berdasarkan konsumsi air pada lahan sawah. *Jurnal Irigasi*, Vol. 7(2):127.
- Sujono, J., N. Matsuo, K. Hiramatsu, T. Mochizuki. 2011. Improving the water productivity of paddy rice (*Oryzasativa* L.) cultivation through water saving irrigation treatments. *Agricultural Sciences*, Vol. 2(4): 514.
- Wahyudi, A., N. Anwar, Edijatno. 2014. Studi optimasi pola tanam pada daerah irigasi Warujayeng Kertosono dengan program linier. *Jurnal Teknik POMITS*, Vol. 3(1): D33.