

Desain Irigasi Tetes Bawah Permukaan Berdasarkan Konduktivitas Hidraulik Tanah untuk Tanaman Hortikultura

Design Of Subsurface Drip Irrigation Base on Soil Hydraulic Conductivity for Horticulture Crop Production

Muhammad Idrus¹⁾, Erie Maulana Sy.²⁾

¹⁾ *Jurusan Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Lampung*

²⁾ *Jurusan Budidaya Tanaman Pangan, Politeknik Negeri Lampung*

Jl. Soekarno Hatta, Rajabasa, Bandar Lampung 35144 Tel. (0721)703995

Email : idrus62@polinela.ac.id

ABSTRACT

Subsurface drip irrigation is designed base on the soil hydraulic conductivity in order to water drip out from emitter not overflow to soil surface so that application of water irrigation more effcient. The objectives of the research were (1) To compose matematik equation for determining diameter of hole emitter sub surface drip irrigation base on soil hydraulic conductivity so that emitter discharge not more than soil hydraulic conductivity; (2) To constract the physic model of subsurface drip irrigation conform with the design in this research; (3) To test performances design result of the subsurface drip irrigation at the research station with plant indicator is chilly with 4, 6, 8, and 10 days irrigation interval.

The result of the research showed that the diameter of hole emitter of subsurface drip irrigation base on the equation /2.4/ for clay, sandy loam, and sand textures are 3,3; 4,7; and 6,6 mm respectively without water overflow from hole emiter to the soil surface.

The irrigation interval of 6 days by using subsurface drip irrigation until day old of chilly 50 days after planting gave production 0,561 kg plant⁻¹ and economical benefit per unit of water. Water productivity of chilly with 6 days irrigation interval is very high of 6.56 kg m⁻³ of water.

Keywords: subsurface drip irrigation, hole diameter emitter, chilly, irrigation interval.

Naskah ini diterima pada tanggal 2 Juni 2014, direvisi pada tanggal 16 Juni 2014 dan disetujui untuk diterbitkan pada tanggal 15 Agustus 2014

PENDAHULUAN

Guna memanfaatkan jumlah air yang terbatas untuk budidaya tanaman hortikultura diperlukan teknologi irigasi yang hemat air seperti irigasi tetes modern (komersial). Namun irigasi tetes modern (komersial) belum dapat diterapkan oleh petani tanaman hortikultura karena harga mahal yang belum terjangkau oleh petani, semua komponen-komponennya masih diimpor dan dalam pengoperasiannya diperlukan keahlian yang memadai. Oleh karena itu, disain alat irigasi hemat air yang murah dan sederhana perlu terus dikembangkan agar dapat diterapkan oleh masyarakat petani pada umumnya dan khususnya pada daerah yang ketersediaan air terbatas

sehingga intensitas pemanfaatan lahan dapat ditingkatkan dan pada gilirannya dapat meningkatkan pendapatan petani.

Penelitian irigasi hemat air di Indonesia telah dirintis oleh Setiawan pada tahun 1997 berupa irigasi kendi dengan bahan pembuatan kendi dari campuran tanah liat, serbuk gergaji dan pasir. Selanjutnya pada tahun 2000 penulis melakukan penelitian aplikasi irigasi kendi dari bahan campuran tanah liat, serbuk gergaji, dan pasir untuk tanaman slada. Kapasitas kendi kurang lebih 2,5 liter. Kemudian pada tahun 2003 penulis melakukan penelitian irigasi kendi dengan kapasitas kendi yang jauh lebih kecil sekitar 0,12 liter dimana kendi dihubungkan dengan sumber air yang ditinggikan melalui selang plastik.

Selanjutnya, pada tahun 2007 penulis melakukan penelitian rancang bangun irigasi tetes sederhana dengan emiter berbentuk silinder dari bahan campuran tanah liat, serbuk gergaji dan pasir. Ukuran emiter silinder berdiameter 25,4 mm, diameter rongga dalam silinder 10 mm dan panjang selinder 70 mm. Emiter silinder dipasang pada mulut botol plastik air mineral kapasitas 1,5 liter sebagai penampung air. Pada tahun 2009 penulis melakukan penelitian rancang bangun irigasi tetes bawah permukaan ini dimana emiter juga berbentuk silinder dengan ukuran yang sama, namun bahan emiter dari tanah liat tanpa campuran dan pada salah satu ujung emiter silinder dibuat dua lubang. Jumlah air yang keluar melalui lubang emiter tersebut dirancang tidak boleh melebihi laju konduktivitas hidrolis tanah agar permukaan tanah tetap kering sehingga pemakaian irigasi semakin efisien.

Disain irigasi tetes bawah permukaan merupakan hasil inovasi dari hasil penelitian penulis tahun 2007 yaitu irigasi tetes sederhana. Irigasi tetes sederhana yang emiternya terbuat dari campuran bahan tanah liat, pasir, dan serbuk gergaji mempunyai kelemahan yaitu sulit mendapatkan campuran bahan yang seragam sehingga ada emiter yang mudah patah karena terlalu banyak serbuk gergaji dan ada juga emiter yang tidak bisa mengeluarkan air karena terlalu banyak tanah liat. Dari pengalaman ini penulis mengusulkan penelitian disain irigasi tetes bawah permukaan dengan emiter dari tanah liat tanpa campuran akan tetapi pada dinding emiter dibuat 2 lubang dengan diameter sesuai dengan nilai konduktivitas hidraulik tanah.

Pemberian air dengan irigasi tetes dilakukan dengan menggunakan alat penetes (emiter). Penetes dapat memberikan air dengan debit yang rendah di daerah sekitar perakaran tanaman, dalam jumlah mendekati kebutuhan tanaman (Howell, *et al.*, 1980).

Pemberian air langsung ke tanah bawah permukaan, yang dalam praktik dikenal sebagai irigasi bawah permukaan (*subirrigation*) (Hansen *et al.*, 1980). Irigasi tetes bawah permukaan ini menggunakan emiter dari pipa plastik yang porous. Irigasi tetes dengan emiter yang ditanamkan dalam tanah (irigasi tetes bawah permukaan) mempunyai potensi untuk menghemat air irigasi dengan mengurangi permukaan tanah basah sehingga juga mengurangi penguapan (Evet, Howel, dan Schneider, 2000).

Jika penampang melintang dari suatu lubang terbenam maka debit aliran dapat ditentukan dengan persamaan (Hansen, *et al.*, 1980):

$$Q = CA\sqrt{h} \quad (1.1)$$

Dimana:

Q = banyaknya aliran

A = luas penampang melintang aliran

h = tinggi air (cm) atau tinggi tekanan yang menyebabkan aliran melalui lubang

C = koefisien aliran

Debit aliran melalui kolom tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Darcy berikut:

$$Q = K \frac{A}{L} \Delta\Psi \quad (1.2)$$

Dimana:

Q = debit (cm^3/dt)

K = konduktivitas hidraulik tanah (cm/dt)

A = luas penampang melintang kolom tanah (cm^2)

L = panjang kolom tanah (cm)

$\Delta\Psi$ = perbedaan tinggi hidraulik (cm)

Penelitian ini bertujuan: (1) Menyusun persamaan matematika untuk penentuan diameter lubang emiter irigasi tetes bawah permukaan berdasarkan konduktivitas hidraulik tanah sehingga debit emiter tidak melebihi konduktivitas hidraulik tanah; (2) Membuat model fisik irigasi tetes bawah permukaan sesuai dengan hasil disain dalam penelitian; (3) Mencari koefisien debit (C) emiter irigasi tetes bawah permukaan; (4) Mengukur nilai konduktivitas hidraulik tanah (K) untuk 3 tekstur tanah; (5) Memperbanyak (membuat) alat irigasi tetes bawah permukaan dengan diameter lubang emiter berdasarkan nilai K tanah plot penelitian sebagai hasil penerapan persamaan matematika yang telah disusun; (6) Melakukan uji kinerja hasil disain alat irigasi tetes bawah permukaan di lahan dengan pemberian air pada berbagai interval waktu pemberian air irigasi pada tanaman cabai.

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian telah dilaksanakan di Laboratorium Teknik Tanah dan Air dan Kebun Percobaan Politeknik Negeri Lampung sejak April sampai November 2009.

Bahan dan Alat

Bahan utama penelitian terdiri dari tanah liat, botol plastik bekas air mineral, selang plastik, pipa PVC, lem PVC, tali rafia, benih cabai Bintang Asia (Ferosa), pupuk kandang, pupuk Urea, pupuk SP36, pupuk KCl, dan obat-obatan.

Alat utama yang digunakan adalah oven, timbangan, *Constant Head Permeameter*, kotak kaca, bak penampung air, pompa irigasi, cangkul, meteran dan *knapsack sprayer*.

Pelaksanaan Penelitian

Diagram alir pelaksanaan penelitian tahun I dapat dilihat pada Gambar 1.

Penyusunan Persamaan Matematika Ukuran Diameter Lubang Emiter

Model matematika penentuan diameter lubang emiter dikembangkan dengan menggunakan persamaan debit aliran melalui lubang terbenam dengan asumsi tinggi permukaan air dari lubang konstan. Aliran air melalui lubang emiter yang dibenam di bawah permukaan tanah dapat dianalogkan dengan aliran air melalui lubang terbenam sehingga persamaan (1.1) menjadi:

$$Q_e = C.A_e.\sqrt{h} \tag{2.1}$$

Dimana:

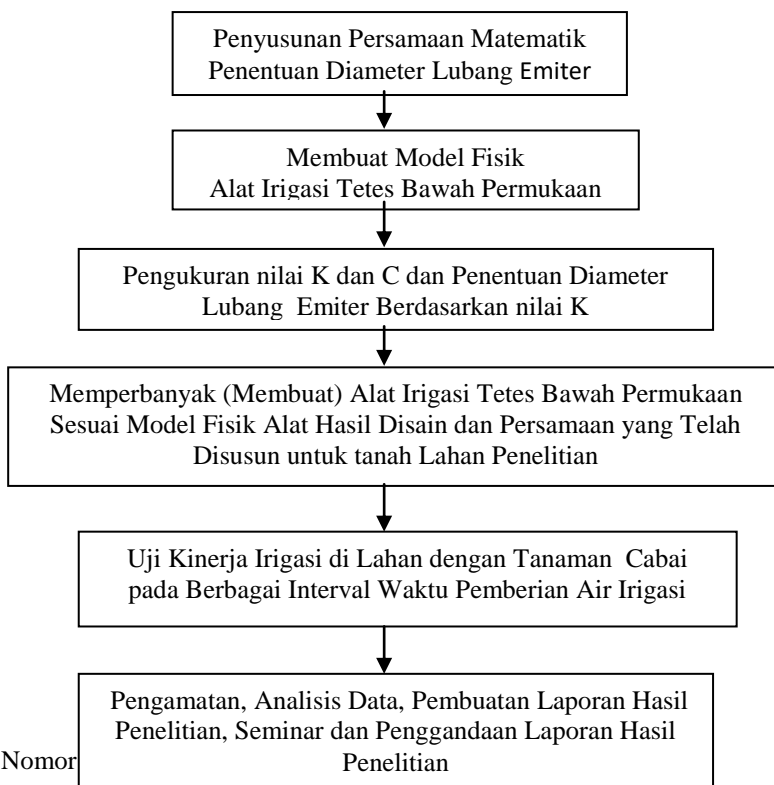
Q_e = debit emiter

A_e = luas penampang lubang emiter

h = tinggi air (cm) atau tinggi tekanan yang menyebabkan aliran melalui lubang

C = koefisien debit emiter diperoleh dari hasil percobaan

Oleh karena emiter dibuat dengan 2 lubang maka debit emiter adalah dua kali debit emiter dengan 1 lubang.



Gambar 1. Diagram alir pelaksanaan penelitian

Aliran air melalui lubang emiter yang dibenam di bawah permukaan tanah diusahakan tidak meluap keluar membasahi permukaan tanah yang dapat meningkatkan penguapan sehingga efisiensi penggunaan air irigasi menurun. Usaha yang dapat dilakukan yaitu debit aliran dari emiter tidak boleh melebihi kemampuan tanah meloloskan air (nilai konduktivitas hidrolik tanah, K) sehingga nilai Q pada persamaan (1.2) sama dengan nilai Q_e pada persamaan (2.1) atau $Q=Q_e$ sehingga persamaan menjadi:

$$C.Ae.\sqrt{h} = K \frac{A}{L} \Delta\Psi \tag{2.2}$$

$$A_e = 3,14 (d_e^2 / 4)$$

$$C 3,14 (d_e^2 / 4) h^{1/2} = A K (\Delta\Psi / L)$$

$$d_e = [4 A K \Delta\Psi / 3,14 C L h^{1/2}]^{1/2} \tag{2.3}$$

Dimana:

d_e = diameter lubang emiter

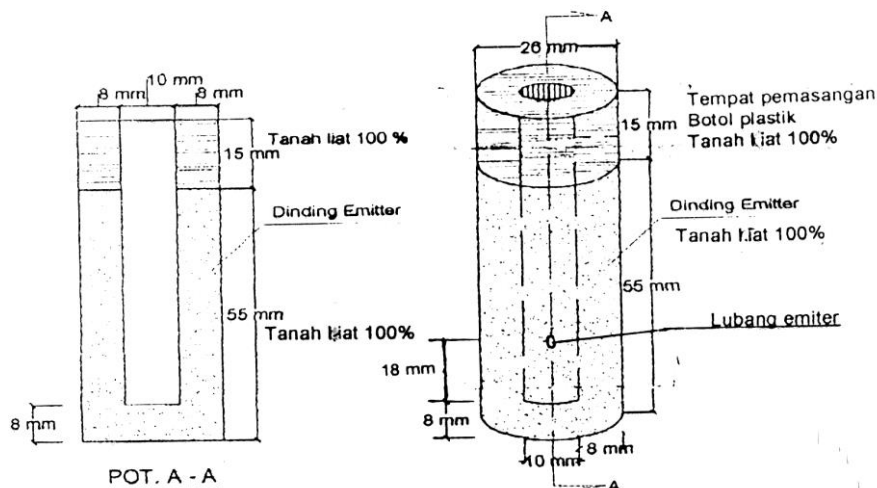
Oleh karena nilai C diperoleh dari percobaan pengukuran debit emiter irigasi tetes bawah permukaan dengan 2 lubang emiter maka persamaan (2.3) menjadi:

$$d_e = 0,5 [4 A K \Delta\Psi / 3,14 C L h^{1/2}]^{1/2} \tag{2.4}$$

Persamaan (2.4) digunakan untuk menentukan diameter lubang emiter irigasi tetes bawah permukaan dengan 2 lubang emiter.

a. Pembuatan Model Fisik Alat irigasi

Irigasi tetes bawah permukaan merupakan pengembangan dari irigasi tetes sederhana hasil rancang bangun Idrus, dkk. (2008) dengan emiter berbentuk silinder yang terbuat dari campuran tanah liat, pasir, dan serbuk gergaji. Sedangkan emiter irigasi tetes bawah permukaan yang akan diteliti juga berbentuk silinder namun dibuat dari tanah liat tanpa campuran. Kemudian pada posisi 26 mm dari ujung bawah emiter dibuat 2 lubang pada dua dinding emiter sebelah menyebelah (Gambar 2) agar air dapat keluar membasahi zona perakaran di bawah permukaan tanah.



Gambar 2. Gambar disain emiter irigasi tetes bawah permukaan

Penempatan lubang emiter 26 mm dari ujung bawah emiter atau 18 mm dari dasar ruang dalam emiter agar air irigasi mengandung partikel-partikel halus atau sedimen dapat mengendap pada dasar ruang emiter sehingga potensi penyumbatan lubang emiter dapat diminimalkan. Alat irigasi tetes bawah permukaan hasil rancang bangun (disain) pada penelitian tahun pertama dapat dilihat pada Gambar 3.

b. Pengukuran nilai K dan C

Pengukuran nilai K sampel tanah diukur dengan menggunakan *Constant Head Permeameter*. Sample tanah diambil di lahan pada 5 titik untuk setiap tekstur tanah dengan menggunakan ring pada kedalaman lapisan 10, 20, dan 30 cm dari permukaan tanah. Nilai K dihitung dengan menggunakan persamaan (1.2).

Pengukuran nilai C dilakukan dalam kotak kaca ukuran 50 cm x 50 cm x 50 cm yang telah diisi dengan tanah yang telah dipadatkan sedemikian rupa. Ukuran diameter lubang emiter yang digunakan yaitu 2,26; 3,80; dan 6,60 mm. Emiter dipasang pada mulut botol plastik kemudian botol plastik tersebut diisi dengan air. Tinggi air dalam botol plastik tersebut dipertahankan 30 cm dan jumlah air yang keluar melalui lubang emiter diukur selama 15 menit. Nilai C dihitung dengan menggunakan persamaan (2.1).

c. Uji kinerja alat irigasi di lahan

Penelitian ini merupakan penerapan hasil disain pengembangan fisik alat pada tahap awal penelitian ini. Alat irigasi tetes bawah permukaan yang telah dirancang bangun diuji kinerja pada lahan pertanian. Jenis tanaman hortikultura untuk pengujian yaitu cabai.

Rancangan percobaan

Dalam penelitian ini, perlakuan disusun dalam rancangan acak kelompok dengan perlakuan 4 interval waktu pemberian air irigasi yaitu 4, 6, 8, dan 10 hari. Setiap perlakuan diulang 3 kali. Setiap ulangan perlakuan terdiri dari 104 satuan percobaan (tanaman atau unit alat). Pemberian pupuk kandang dan kimia diberikan langsung lubang tanam 1 minggu sebelum tanam dengan cara sebar kemudian diaduk merata dengan tanah.



Gambar 3. Bentuk fisik alat irigasi tetes bawah permukaan hasil rancang bangun

Analisis data

Analisis data dilakukan dengan sidik ragam kemudian dilanjutkan dengan uji BNT pada taraf nyata 5%. Jumlah tanaman yang dipanen untuk analisis data sebanyak 10% dari populasi masing-masing tanaman, yang dipilih secara acak.

Peubah yang Diamati

Peubah yang diamati, yaitu jumlah pemberian air irigasi, jumlah buah, produksi, dan produktivitas air.

Pemasangan alat irigasi dan pemberian air

Alat irigasi tetes bawah permukaan dipasang 7-10 cm dari batang tanaman setelah tanam dengan cara memasang emiter di dalam tanah sampai batas leher botol plastik (lihat Gambar 4).



Gambar 4. Jaringan lateral, sub utama penyuplai air ke botol plastik

Pemberian air irigasi pada hari pertama dilakukan dengan cara penyiraman dengan jumlah air yang sama pada seluruh perlakuan agar pada tahap awal tanaman dapat tumbuh dengan baik. Cara seperti ini juga telah dilakukan oleh Schneider *et al.*, (2001). Selanjutnya pada pemberian air irigasi berikutnya dilakukan sesuai dengan perlakuan interval waktu pemberian air.

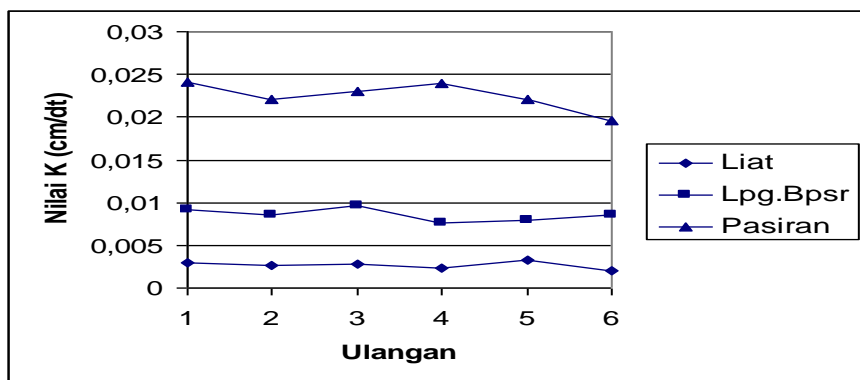
Pemberian air irigasi ke setiap botol plastik penampung air emiter dilakukan dengan menggunakan selang plastik berdiameter 6 mm yang dihubungkan dengan pipa lateral dari pipa PVC berdiameter 25,4 mm. Pada jaringan irigasi ini dipasang 4 pipa lateral yang dapat dipindah-pindah dengan arah yang berlawanan (arah saling mendekati). Pemberian air tidak dilakukan

secara serentak, tetapi secara bergilir. Pada saat mulai pemberian air ada 2 pipa lateral yang dioperasikan, sementara 2 pipa lateral yang lain dimatikan (katup ditutup). Bila botol plastik hampir penuh maka kedua katup lateral ditutup kemudian 2 katup lateral yang lain dibuka. Selanjutnya, dua lateral yang baru dimatikan dipindahkan ke bedengan tanaman berikutnya, demikian seterusnya sampai pemberian air pada hari itu selesai.

HASIL PEMBAHASAN

Konduktivitas Hidraulik Tanah (K)

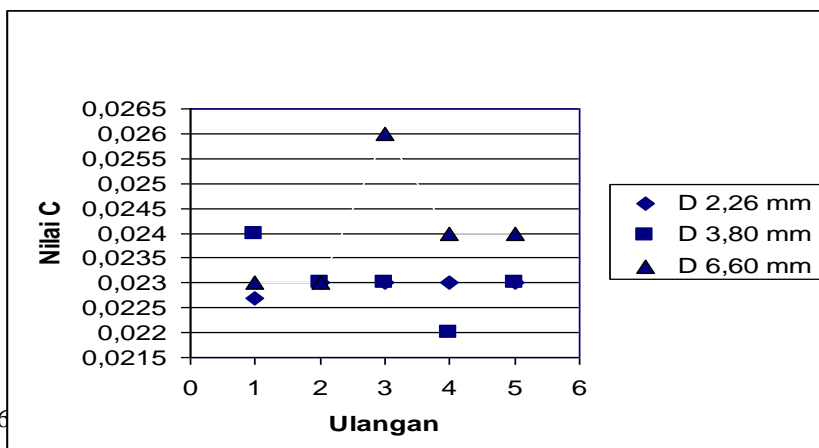
Hasil pengukuran konduktivitas hidraulik tanah dapat dilihat pada Gambar 5. Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin kasar tekstur tanah maka konduktivitas hidraulik tanah semakin meningkat. Rata-rata konduktivitas hidraulik tanah dengan tekstur tanah liat, lempung berpasir dan tanah pasiran berturut-turut 0,00259; 0,00826; dan 0,0216 cm/dt.



Gambar 5. Grafik nilai K pada tekstur tanah liat, lempung berpasir (Lpg Bpsr) dan pasiran.

Koefisien Debit Emiter (C) Irigasi Tetes Bawah Permukaan

Sama halnya dengan nilai konduktivitas hidraulik tanah, semakin kasar tekstur tanah maka nilai koefisien debit emiter (C) semakin meningkat. Pada tekstur tanah yang sama nilai koefisien debit emiter pada berbagai diameter lubang emiter relatif sama. Hasil pengukuran koefisien debit emiter pada tekstur tanah liat untuk 3 ukuran diameter lubang emiter dapat dilihat pada Gambar 6.

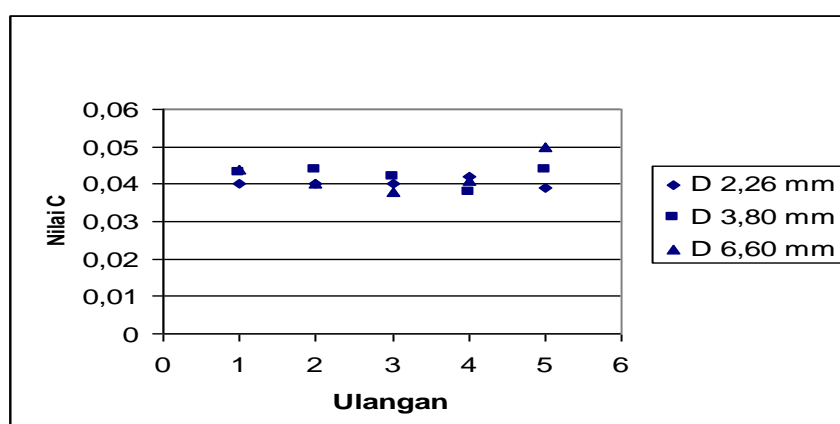


Gambar 6. Grafik sebaran nilai C pada tanah tekstur liat

Gambar 6 menunjukkan bahwa rata-rata nilai koefisien debit emitter (C) pada tanah liat untuk diameter lubang emitter 2,26; 3,80; dan 6,60 mm adalah 0,023.

Tanah Tekstur Lempung Berpasir

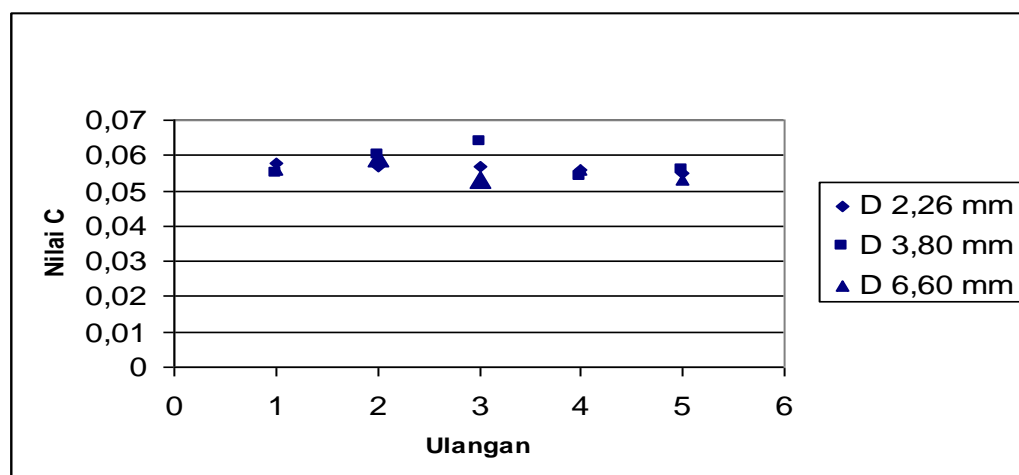
Hasil pengukuran nilai C pada tektur tanah lempung berpasir dapat dilihat pada Gambar 7. Gambar 7 menunjukkan bahwa nilai C pada tanah liat rata-rata 0,042.



Gambar 7. Grafik sebaran nilai C pada tekstur tanah lempung berpasir

Tanah Tekstur Pasiran

Hasil pengukuran nilai C pada tektur tanah lempung berpasir dapat dilihat pada Gambar 8. Pada Gambar 8 menunjukkan bahwa nilai pada tanah pasiran rata-rata 0,057.



Gambar 8. Grafik sebaran nilai C pada tanah tekstur pasiran.

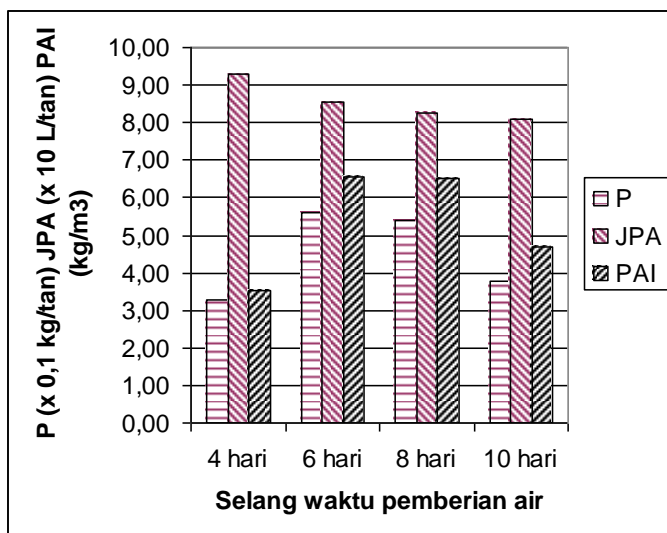
Dengan diperolehnya nilai K dan C dari hasil pengukuran untuk tanah liat, lempung berpasir dan pasir maka diameter lubang emitter dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.4).

Ukuran diameter lubang emitter (de) irigasi tetes bawah permukaan untuk tanah bertekstur liat, lempung berpasir, dan pasir dengan menggunakan persamaan (2.4) diperoleh rata-rata 3,3 mm, 4,7 mm, dan 6,6 mm secara berturut-turut tanpa terjadi luapan air dari lubang emitter ke permukaan tanah. Luapan air dari lubang emitter ke permukaan tanah tidak dikehendaki dalam rancang bangun irigasi tetes bawah permukaan tanah karena dapat meningkatkan penguapan air dari permukaan tanah yang berakibat pemakaian air irigasi menjadi boros.

Produksi, Jumlah Pemakaian Air Irigasi Dan Produktivitas Air Irigasi

Selang waktu pemberian air irigasi berpengaruh nyata terhadap produksi, jumlah pemakaian air, dan produktivitas air irigasi tanaman cabai. Produksi, jumlah pemakaian air irigasi, dan produktivitas air tanaman cabai dapat dilihat pada Gambar 9.

Gambar 9 menunjukkan bahwa produksi cabai tertinggi diperoleh pada selang waktu pemberian air irigasi 6 hari (0,561 kg tanaman⁻¹ atau 11,22 ton ha⁻¹) namun tidak berbeda nyata dengan 8 hari (0,537 kg tanaman⁻¹ atau 10,74 ton ha⁻¹), sedangkan yang terendah adalah selang waktu pemberian air irigasi 4 hari (0,327 kg tanaman⁻¹ atau 6,54 ton ha⁻¹). Jumlah buah terbanyak diperoleh pada selang waktu pemberian air irigasi 6 hari yaitu rata-rata 216,76 buah tanaman⁻¹, namun tidak berbeda nyata dengan selang waktu pemberian air 8 hari (206 buah tanaman⁻¹). Hal ini menunjukkan bahwa produksi tanaman cabai sangat baik dengan menggunakan irigasi tetes bawah permukaan pada selang waktu pemberian air 6 hari sampai umur tanaman 50 hari setelah tanam dan selanjutnya pada semua perlakuan dilakukan pemberian air irigasi setiap hari sampai panen guna memperkecil gugur bunga. Berat buah tanaman cabai dalam penelitian ini rata-rata 2,59 g buah⁻¹ dengan ukuran panjang berkisar 8,5-12,6 cm dan diameter buah rata-rata 5 mm.



Gambar 9. Histogram produksi (P), jumlah pemakaian air irigasi (JPA) dan produktivitas air (PAI) tanaman cabai.

Produktivitas air irigasi tanaman cabai tertinggi diperoleh pada selang waktu pemberian air irigasi 6 hari ($6,56 \text{ kg m}^{-3}$), namun tidak berbeda nyata dengan selang waktu pemberian air irigasi 8 hari ($6,51 \text{ kg m}^{-3}$), sedangkan yang terendah adalah pada selang waktu pemberian air irigasi 4 hari. Hal ini menunjukkan bahwa produktivitas air irigasi tanaman cabai pada selang waktu pemberian air irigasi 6 hari dengan menggunakan irigasi tetes bawah permukaan sangat baik dan lebih tinggi dibandingkan dengan produktivitas cabai pada penelitian sebelumnya yaitu sebesar 3 kg m^{-3} (Dorenboss dan Kassam, 1979).

Kaitannya dengan produktivitas air irigasi pada kondisi ketersediaan air irigasi yang terbatas maka selang waktu pemberian air irigasi 6 hari dapat menjadi pilihan untuk usaha produksi tanaman cabai dengan penghematan air 8% dibandingkan dengan selang waktu pemberian air irigasi 4 hari.

KESIMPULAN

Diameter lubang emiter irigasi tetes bawah permukaan dengan jumlah lubang emiter 2 buah dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$d_e = 0,5 [4 A K \Delta \psi / 3,14 C L h^{1/2}]^{1/2}$$

Dengan demikian, berdasarkan persamaan ini dapat diperoleh diameter lubang emiter irigasi tetes bawah permukaan untuk tanah bertekstur liat, lempung berpasir, dan tanah pasir berturut-turut 3,3; 4,7; dan 6,6 mm tanpa terjadi limpahan air irigasi dari lubang emiter ke permukaan tanah.

Selang waktu pemberian air irigasi 6 hari dengan menggunakan irigasi tetes bawah permukaan sampai umur tanaman cabai 50 hari setelah tanam memberikan produksi $0,561 \text{ kg tanaman}^{-1}$ dan keuntungan ekonomis per unit air. Produktivitas air tanaman cabai pada selang waktu pemberian air irigasi 6 hari sangat tinggi yaitu sebesar $6,56 \text{ kg m}^{-3}$ air.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada DIKTI Kementerian Pendidikan Nasional Republik Indonesia atas bantuan dana yang telah diberikan melalui Program Penelitian Hibah Bersaing untuk pelaksanaan penelitian ini, juga terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Ir. Suprpto, M.P. dan Ir. Erie Maulana Sy., M.T.A. atas masukan-masukan yang telah diberikan dan juga kepada Taufik Ismail, Yovan Maulana, Siti Marwiyah dan Zainal Arifin atas bantuan tenaga dan waktu dalam pelaksanaan penelitian ini sampai selesai.

DAFTAR PUSTAKA

Evelt, S.R., T.A. Howell, and A.D. Schneider. 2000. International Water and *Irrigation Journal*, Vol. 20, No. 4. pp. 18-22.

Doorenbos, J. and Kassam. 1979. *Yield response to water*. FAO. Rome.

Hansen, V.E., O.W. Israelsen, and G.E. Stringham. *Irrigation Principles and Practices*. John Wiley & Sons. New York.

Howell, T.A., F.K. Aljiburi, H.M. Giltin, I. Pai Wu, A.W. Warrick and P.A.C. Raats. 1980. *Design and operation of trickle (drip) irrigation*. Di dalam Jensen, M.E. (Ed.). 1980. Design and operation of farm irrigation system. ASAE. Michigan.

Idrus, M, Suprpto, dan E. Maulana. 2008. Rancang bangun irigasi tetes sederhana untuk produksi sayuran semusim di lahan kering. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II 2008*. Universitas Lampung. Bandar Lampung, 17-18 November 2008.

Schneider, A.D, T.A. Howell, and S.R. Evelt. 2001. Comparison of SDI, LEPA, and Spray Irrigation Efficiency. *An ASAE Meeting Presentation*. July 29-August, 2001. Sacramento. California.