ISSN 1907-0799

Makalah REVIEW

Teknologi Irigasi Suplemen untuk Adaptasi Perubahan Iklim pada Pertanian Lahan Kering

Suplemental Irrigation Technology for Climate Change Adaptation on Upland Agriculture

Umi Haryati

Peneliti Badan Litbang Pertanian di Balai Penelitian Tanah, Jl. Tentara Pelajar No. 12, Bogor 16114; email: umiharyati@yahoo.com

Diterima 21 Maret 2014; Direview 24 Maret 2014; Disetujui dimuat 1 Mei 2014

Abstrak. Lahan kering di Indonesia cukup potensial untuk dikembangkan sebagai lahan pertanian ditinjau dari segi luasan. Luas lahan kering di Indonesia mencapai lebih dari 140 juta ha. Lahan kering adalah lahan yang hanya mengandalkan air hujan sebagai sarana pemenuhan kebutuhan airnya. Ketidak pastian iklim di daerah ini, dengan adanya perubahan iklim, merupakan salah satu kendala dalam sistem produksi pertaniannya. Oleh karena itu penggunaan air secara efisien merupakan perhatian utama dalam usaha pertanian di lahan kering. Irigasi suplemen merupakan salah satu teknologi yang memfasilitasi pemenuhan kebutuhaan air sesuai kebutuhan tanaman dengan tingkat efisiensi penggunaan air yang berbeda tergantung jenis teknologi yang digunakan. Makalah ini bertujuan untuk mengemukakan tentang prospek implementasi teknologi irigasi suplemen untuk adaptasi perubahan iklim di lahan kering berdasarkan: 1) Prinsip dasar irigasi di lahan kering, 2) Potensi sumberdaya air di lahan kering, 3) Alternatif teknologi irigasi suplemen di lahan kering dan 4) Strategi implementasi teknik irigasi suplemen untuk usahatani di lahan kering.

Kata kunci: Prinsip irigasi / Evapotranspirasi / Management Allowable Depletion (MAD) / Irigasi Suplemen / Implementasi

Abstract. Upland is the land that only depend on the rainfall as the main water source to fullfill its water needs. Unpredictable climate in this area, even with climate change appereance, is one of the problem/constraint in its agriculture production. So that, water use efficiency should become the main concern on farming system practise in upland. Suplemental irrigation is one of technology that facilitate to fullfill water needs as well as crop water requirement with different water use efficiency level, depend on the kind of technology that be used. This paper was aim to inform about the implementation prospect of suplemental irrigation technology for adaptation of climate change in upland base on: 1) Principle of irrigation in upland, 2) Potential water source in upland, 3) Alternatives of suplemental irrigation technology in upland and 4) Strategy of suplemental irrigation technology implementation for farming system in upland.

Keywords: Principle of Irrigatione / Evapotranspiration / Management Allowable Depletion (MAD) / Suplemental Irrigation, Implementation

PENDAHULUAN

Lahan kering di Indonesia merupakan salah satu sumberdaya lahan yang potensial untuk dikembangkan mendukung pembangunan pertanian baik ditinjau dari segi luasan maupun terbukanya peluang produksi berbagai komoditas pertanian. Luas lahan kering di Indonesia mencapai lebih dari 140 juta ha (Hidayat dan Mulyani 2005). Menurut BPS (2003), sekitar 54 juta ha lahan kering di Indonesia atau sekitar 28,67 % dari total luas Indonesia (diluar Maluku dan Papua) sudah digunakan untuk pertanian. Lahan kering tersebut tersebar di Sumatera (20,5 juta ha), Jawa (6, 1 juta ha), Bali dan NTT (3,9 juta ha), Kalimantan (16 juta ha), dan Sulawesi (7,5 ha) (BPS 2003).

Pada umumnya pertanian lahan kering di Indonesia merupakan lahan pertanian yang untuk pemenuhan kebutuhan airnya bersumber dari air hujan. Tanpa penerapan teknologi irigasi suplemen dan teknologi hemat air, sistim pertanian konvensional ini peka terhadap deraan kekeringan baik pada periode pendek di musim hujan, apalagi pada musim kemarau. Irigasi suplemen adalah pemberian air sebagai pelengkap (complementary) apabila curah hujan tidak mencukupi untuk mengkompensasi kehilangan air tanaman yang disebabkan oleh evapotranspirasi atau kebutuhan air tanaman.(Agus *et al.* 2005; Arsyad 2010). Irigasi suplemen bertujuan untuk memberikan air yang dibutuhkan tanaman pada waktu, volume dan interval yang tepat. Dengan menggunakan tekhnologi irigasi suplemen, musim tanam (untuk tanaman semusim) pada sebagian besar wilayah Indonesia tidak terbatas

hanya pada musim hujan saja, tetapi bisa diperpanjang sampai pada pertengahan musim kemarau. Hal ini dimungkinkan karena sekitar 83 % wilayah Indonesia mempunyai curah hujan tahunan > 2.000 mm. Jika teknologi panen hujan dan hemat air serta irigasi suplemen secara teknis dan sosial ekonomis dapat diterapkan, maka masalah kekurangan air, sebagai akibat perubahan iklim, akan dapat diatasi. Teknologi panen hujan diantaranya pembuatan embung, dam parit, rorak (Kartiwa dan Dariah 2012), sedangkan teknologi irigasi suplemen berupa teknik irigasi tetes bawah permukaan (sub-surface drip irrigation), serta teknik irigasi tetes/*dripp*, gelontor dan curah/*sprinkle* yang diintegrasikan dengan penggunaan mulsa sisa tanaman berupa jerami merupakan teknologi hemat air (Haryati 2010).

Perubahan iklim global kini sedang terjadi dan telah mempengaruhi berbagai aspek kehidupan manusia. Dampak perubahan iklim diantaranya tercermin dari terjadinya peningkatan suhu udara, perubahan pola hujan, peningkatan muka air laut, dan meningkatnya kejadian iklim ekstrim seperti El-Nino dan La-Nina yang berdampak terhadap terjadinya peningkatan frekuensi banjir dan kekeringan (Haryono dan Las 2011; Badan Litbang Peranian 2011).

Di sektor pertanian, dampak perubahan iklim dapat menurunkan produksi dan produktivitas komoditas pangan (Las *et al.* 2010; Haryono dan Las 2011). Oleh karena itu, upaya-upaya untuk mengurangi beban kerugian karena perubahan iklim (kekeringan, kebanjiran dan kondisi iklim ekstrim) perlu diantisipasi dengan mengenal dan memahami perilaku iklim dan melakukan penyesuaian-penyesuaian yang tepat untuk memperoleh hasil yang optimal (IPCC 2007; Las *et al.* 2010; Haryono dan Las 2011; Agus 2012).

Irigasi berperan semakin penting pada daerah pertanian yang rawan kekeringan. Sistem irigasi yang diterapkan dewasa ini umumnya masih bersifat tradisional, yang meliputi pendistribusian dan penggunaan air, serta masih kurang memperhatikan keseimbangan antara jumlah air yang diberikan dengan kebutuhan air tanaman. Sistem irigasi non teknis cenderung memboroskan penggunaan air, mengurangi efisiensi penggunaan hara, dan menyebabkan degradasi lahan karena penggenangan terutama apabila sistem irigasi tidak dipadukan dengan drainase (Hillel 1990). Ini berarti bahwa penggunaan air irigasi yang tidak tepat bukan saja dapat memboroskan dana, sumberdaya air, tenaga, dan waktu tetapi dapat juga merusak sumberdaya tanah.

Makalah ini bertujuan untuk mengemukakan tentang prospek implementasi teknologi irigasi suplemen untuk adaptasi perubahan iklim di lahan kering berdasarkan: 1) Prinsip dasar irigasi di lahan kering, 2) Potensi sumberdaya air di lahan kering, 3) Alternatif teknologi irigasi suplemen di lahan kering dan 4) Strategi implementasi teknik irigasi suplemen untuk usahatani di lahan kering.

PRINSIP DASAR IRIGASI DI LAHAN KERING

Secara umum irigasi didefinisikan sebagai pemberian air kepada tanah untuk memenuhi kebutuhan air bagi pertumbuhan tanaman (Hansen *et al.* 1992; Arsyad 2010). Pekerjaan irigasi meliputi penampungan dan pengambilan air dari sumbernya, pengambilan air melalui saluran atau pipa ke tanah, dan pembuangan air berlebih. Tujuan irigasi adalah memberikan tambahan air terhadap air hujan, dan memberikan air kepada tanaman dalam jumlah yang cukup dan pada waktu diperlukan (Arsyad 2010).

Irigasi tanaman secara teoritis diperlukan sebagai pelengkap (*complementary*) apabila curah hujan tidak mencukupi untuk mengkompensasikan kehilangan air tanaman yang disebabkan oleh evapotranspirasi. Irigasi suplemen bertujuan untuk memberikan air yang dibutuhkan tanaman pada waktu, volume dan interval yang tepat. Dengan menghitung neraca air tanah harian di zona perakaran, maka volume dan interval irigasi dapat direncanakan. Untuk meminimalkan peluang terjadinya cekaman air tanaman, maka irigasi sudah harus diberikan sebelum mencapai batas bawah air yang siap digunakan tanaman (*readily available water*). Untuk meminimalkan kehilangan air dalam bentuk aliran permukaan dan perkolasi, maka jumlah irigasi suplemen yang diberikan harus sama atau lebih kecil dari kapasitas tanah menyimpan air di zona perakaran (Camp *et al.* 1996 *dalam* Irianto dan Surmaini 2002).

Jumlah hari kering berturut-turut selama musim tanam merupakan indikator yang berguna dalam menentukan apakah tanaman akan mengalami cekaman air atau tidak. Periode tanpa hujan selama 7 hari atau lebih dapat menyebabkan terganggunya tanaman terutama pada awal pertumbuhan tanaman dimana akar tanaman masih terbatas pada beberapa sentimeter lapisan permukaan tanah (Agus *et al*. 2005). Jumlah air irigasi yang diberikan ditetapkan berdasarkan kebutuhan tanaman, kemampuan tanah

memegang air, serta sarana irigasi yang tersedia/yang akan digunakan.

Kebutuhan Air Tanaman (*Crop Water Requirements*)

Pemberian air harus disesuaikan dengan kebutuhan air tanaman (*crop water requirement*) agar irigasi menjadi efisien. Kebutuhan air tanaman adalah jumlah air yang digunakan untuk memenuhi evapotranspirasi tanaman agar dapat tumbuh normal. atau dengan kata lain merupakan air irigasi yang diperlukan untuk memenuhi evapotranspirasi dikurangi curah hujan efektif (Dastane, 1974). Evapotranspirasi tanaman merupakan kebutuhan air tanaman yang dibatasi sebagai kedalaman air yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman yang optimal dalam keadaan bebas penyakit, tumbuh tanpa stagnasi dari kadar air tanah dan kesuburan serta lingkungan sekitarnya. Besarnya evapotranspirasi tanaman dipengaruhi oleh faktor iklim, jenis tanaman, dan fase pertumbuhan tanaman. Kondisi lahan pertanian seperti jenis dan sifat tanah, keadaan topografi dan luas areal pertanaman juga mempengaruhi kebutuhan air tanaman (Doorenbos dan Pruit 1977). Arsyad (2010) mendefinisikan evapotranspirasi (pemakaian air konsumtif) sebagai jumlah air pada suatu areal bertanaman yang dipergunakan untuk transpirasi, diuapkan dari tanah dan permukaan air serta yang diintersepsi oleh tanaman, dapat dinyatakan dalam volume air persatuan luas seperti meter kubik per hektar atau dalam tinggi air seperti milimeter.

Evapotranspirasi potensial adalah besarnya evapotranspirasi yang dapat terjadi dengan kondisi air tersedia cukup untuk pertumbuhan tanaman. Menurut Doorenbos dan Pruit (1977), evaporasi potensial dapat diduga melalui pendekatan terhadap faktor-faktor iklim dan karakteristik tanaman (kc). Nilai kc bervariasi tergantung dari jenis dan tahap pertumbuhan tanaman. Pada saat fase kritis tanaman, maka jumlah air yang diberikan lebih besar. Kebutuhan air dan fase kritis berbeda untuk setiap tanaman. Tanaman kentang memerlukan air sebanyak 500-700 mm selama masa pertumbuhan dan fase kritisnya terjadi pada masa pembentukan umbi. Tanaman tomat memerlukan 400-600 mm air selama masa pertumbuhan dan fase kritisnya terjadi pada masa pembungaan. Tanaman tembakau memerlukan 400-600 mm air selama masa pertumbuhan dan fase kritisnya terjadi pada fase vegetatif. Sedangkan tanaman tebu yang berumur 12 bulan membutuhkan air sebesar 1500 – 2500 mm dan sensitif terhadap kekeringan pada fase pembentukan tunas dan vegetatif (Agus *et al.* 2005).

Penggunaan air (*water use*) beberapa teknik irigasi pada pertanaman cabai pada tanah Typic Kanhapludult Tamanbogo, Lampung Timur berkisar dari 616 – 626 mm atau rata-rata 621mm (Haryati 2010; Haryati *et al.* 2011). Ini adalah penggunaan air konsumtif yang setara dengan evapotranspirasi tanaman (ETp). Menurut Doorenbos dan Pruitt (1977) ETp adalah nilai faktor iklim dan karakteristik tanaman (kc) kali evapotranspirasi acuan (ETo). Besarnya ETp cabai selama pertanaman, yang dihitung berdasarkan fase pertumbuhannya adalah 624,52 mm (Tabel 1).

Tabel 1. Perhitungan evapotranspirasi (ETp) tanaman cabai berdasarkan fase pertumbuhannya pada tanah *Typic Kanhapludult* Tamanbogo, Lampung Timur

Table 1. Evaporatranspiration (ETp) calculation of chili based on the phase of its growth in Typic Kanhapludult soil of Tamanbogo, East Lampung

Fase pertumbuhan	waktu	Kc*)(kisaran)		Kc	ETo**)	ETp
	hari	bawah	atas	rata2	mm hari^{-1}	mm
Awal	30	0,30	0,40	0,35	3,29	34,53
Vegetatif-1	30	0,60	0,75	0,68	3,19	64,67
Vegetatif-2	30	0,60	0,75	0,68	3,09	62,60
Pembungaan	10	0,95	1,10	1,03	3,57	36,59
Pembentukan hasil	40	0,85	1,00	0,93	4,37	16,57
Pematangan	7	0,80	0,90	0,85	4,32	25,72
Masa panen	65	0,80	0,90	0,85	4,32	238,84
Jumlah	212					624,52

Keterangan:
*) Doorenboss dan Kasam (1979);
**) ETo pada bulan ybs di Tamanbogo, Lampung Timur
Sumber: Haryati *et al.* 2011;

Dalam menduga besarnya evapotranspirasi tanaman, beberapa tahapan yang harus dilakukan yaitu menduga evapotranspirasi acuan dengan menggunakan salah satu metoda pendugaan. Pemilihan metode dilakukan berdasarkan data iklim yang tersedia dan ketetapan tanaman sesuai dengan jenis dan tingkat pertumbuhan tanaman. Evapotranspirasi tanaman acuan (*reference crop evapotranspiration*) atau ETo, didefinisikan sebagai laju evapotranspirasi rumput hijau (*green crop*) dengan tinggi seragam antara 8 – 15 cm, tumbuh secara aktif menutup tanah dengan sempurna pada kondisi tidak kekurangan air (Doorenbos dan Pruitt 1977). Besarnya avapotranspirasi acuan dapat

ditentukan dengan cara menduga melalui suatu metode empiris antara lain: Metode Blaney-Criddle, Metode Radiasi, metode Penman, Metode Panci Evaporasi.

Konsep *Management Allowable Depletion* (MAD)

Dalam pemberian air irigasi perlu diperhatikan kemampuan tanah untuk menyerap dan menyimpan air, yang dalam hal ini sangat dipengaruhi oleh keadaan tekstur, struktur dan keadaan profil tanah (Hansen *et al*. 1992). Kemampuan tanah memegang air perlu diperhitungkan, karena pemberian air diatas kemampuan tanah memegang air, menyebabkan air akan dialirkan sebagai aliran permukaan atau bergerak ke lapisan tanah yang lebih dalam melalui perkolasi.

Tanah yang ideal strukturnya adalah yang mempunyai perimbangan antara pori aerasi dan pori penahan air. Pada tanah bertekstur pasir air akan mudah terdrainase dan mudah pula terevapotranspirasi, sebaliknya pada tanah liat berat, drainase dan penyerapan air oleh tanaman lebih terhambat. Tanah bertekstur halus dan mempunyai struktur remah akan lebih mampu menahan air tersedia. Menurut Agus *et al*. (2005) Tanah yang ideal untuk penyediaan air adalah yang selisih pori pada kondisi kapasitas lapang dan titik layu permanen cukup besar (18 – 23 %).

Karena proses yang bervariasi seperti evaporasi, drainase, perkolasi, aliran kesamping, pengambilan air oleh tanaman, air mengalami deplesi keluar dari pori tanah ke lingkungan, sementara tanaman membutukan air secara kontinyu agar tumbuh dan untuk transpirasi. Jumlah air maksimum yang dapat ditahan oleh tanah, setelah drainase disebut kapasitas lapang. Ketika air mengalami deplesi, kelembaban tanah mulai menurun. Jika tidak ada air masuk ke permukaan (seperti hujan, irigasi, banjir dan lain-lain), tanah akan kekeringan. Pada level tertentu dari kelembaban tanah, tanaman mulai menurun pertumbuhannya dan bahkan produksinya. Untuk mengatasi hal tersebut, kadar air tanah hanya boleh turun sampai batas tertentu dimana tanaman masih dapat tumbuh optimum. Menurut James (1988), derajat kekeringan tanah yang diperbolehkan dan masih dapat memberikan produksi optimum dinamakan *management allowable depletion* (MAD).

Level MAD berdasarkan kepada derajat dimana kelembaban tanah boleh menurun sampai sejumlah tertentu dimana tanaman masih dapat mencapai pertumbuhan dan produksi yang baik. Hal tersebut merupakan batas kritis dimana pada level tersebut irigasi harus diberikan ke tanah. Dengan memperhatikan kedalaman perakaran jumlah air irigasi dihitung.

Kapasitas air tersedia (*available water capacity*) perlu ditetapkan untuk menghitung jumlah air yang dapat diberikan agar irigasi sesuai dengan kebutuhan tanaman. Selama ini kadar air sebesar 50% air tersedia dijadikan dasar umum untuk memberikan air irigasi untuk tanaman. Prinsip dasar ini tidak tepat untuk diterapkan pada tanah-tanah liat yang memiliki sifat mengembang dan mengkerut dan tanah-tanah pasir (Withers and Vipond 1974). Hal ini karena tanah liat mampu menahan air lebih kuat dan meloloskan air dalam jumlah yang jauh lebih rendah dari 50% air tersedia, sedangkan tanah-tanah pasir mampu meloloskan air sebesar 80% air tersedia. Faktor lain yang juga dikesampingkan dalam pemberian air irigasi adalah bahwa akar tanaman selalu tumbuh dan berkembang di dalam tanah dengan distribusi yang dinamis selama pertumbuhan tanaman, juga harus dipertimbangkan dalam menentukan jumlah air irigasi (*irrigation depth*). Irigasi diberikan pada saat level MAD yang terkecil dicapai sampai mencapai kapasitas lapang.

Panda dan Behera (2003) melaporkan bahwa untuk tanaman gandum, tanaman mengekstrak air pada kedalaman 0 – 45 cm dan nilai *water use efficiency* (WUE) tertinggi dicapai pada irigasi yang diberikan pada saat kondisi kelembaban tanah setara dengan 45 % dari air tersedia (MAD = 45 % air tersedia). Selanjutnya direkomendasikan bahwa tanaman jangan sampai mengekstrak air pada MAD yang > 45 % penurunannya bahkan selama periode non kritis pertumbuhan tanaman gandum. Haryati *et al.* (2011) menunjukkan bahwa Level MAD 60% air tersedia dengan volume pemberian irigasi 9,6 mm setiap 3 hari sekali memberikan hasil tanaman dan penggunaan air yang paling optimum, sehingga mencapai efisiensi penggunaan air (*water use efficiency*) yang tertinggi untuk tanaman cabai pada tanah Typic Kanhapludut Lampung.

POTENSI SUMBERDAYA AIR UNTUK IRIGASI SUPLEMEN DI LAHAN KERING

Air Hujan dan Air Permukaan (*Surface Water*)

Curah hujan merupakan komponen hidrologi yang penting, karena merupakan salah satu sumber air langsung ke areal pertanian di samping irigasi. Dalam sistem neraca air, curah hujan merupakan parameter

yang dapat meningkatkan kandungan lengas tanah. Air hujan yang jatuh pada suatu areal pertanian lahan kering, merupakan salah satu sumberdaya air yang dapat digunakan untuk irigasi. Volume total curah hujan efektif yang mengalir sebagai aliran permukaan dalam suatu areal dapat dihitung dengan persamaan:

Volume total = curah hujan x koefisien aliran permukaan x luas areal

Distribusi curah hujan yang tidak merata menyebabkan terjadinya kekeringan atau defisit air atau surplus pada waktu/bulan-bulan tertentu. Berdasarkan analisis neraca air (Suharsono *et al.* 1996), periode air tidak tersedia (defisit) pada areal yang bercurah hujan agak rendah di Sumatera terjadi selama 3-4 bulan (Agustus – November), di Kalimantan terjadi 3-4 bulan (Juli – Oktober) dan di Sulawesi sangat beragam, yaitu 3 – 6 bulan (terutama pada bulan-bulan.Mei – Oktober).

Air yang berpotensi dapat digunakan atau ditampung untuk irigasi adalah air yang berasal dari aliran permukaan (*run-off*), Volume aliran permukaan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Irianto dan Surmaini 2002):

Volume aliran permukaan = tinggi muka air x luas reservoir x waktu

Air permukaan adalah air yang berada di permukaan tanah seperti sungai, embung, check dam, dan waduk. Air permukaan sudah lazim digunakan terutama untuk lahan sawah. Air permukaan yang berpotensi digunakan untuk sumber air irigasi di lahan kering biasanya yang berada di embung dan chek dam.

Embung merupakan kolam yang bentuknya mendekati segi empat untuk menampung air hujan dan air limpasan dan atau air rembesan di lahan sawah tadah hujan yang berdrainase baik (Syamsiah *et al.* 1994). Embung dapat dibedakan menjadi embung permanen dan tidak permanen. Embung permanen adalah embung yang dibuat sekali saja dan tetap digunakan untuk mengairi tanaman sepanjang tahun/musim dan menjelang musim hujan biasanya diadakan pengerukan. Embung tidak permanen adalah embung yang dibuat pada saat menjelang musim kemarau (padi walik jerami), digunakan untuk mengairi tanaman palawija pada musim kemarau dan padi gogo pada musim hujan (gogorancah) (Wardana *et al.* 1991).

Penelitian di Central Luzon, Filipina menunjukkan bahwa penggunaan embung ternyata dapat meningkatkan produksi padi pada musim hujan (0,4 t ha^{-1}), dan dapat mengairi padi pada musim kemarau kira-kira 1/3 dari luas pertanaman musim hujan (Waston *et al.* 1987 dalam Syamsiah *et al.* 1990). Luas areal yang digunakan untuk embung 7 -8 % dari total luas yang diairi dengan kedalaman 2,6 m dapat meningkatkan indeks pertanaman 100 %, dan menanam ikan.

Mazwar *et al.* (1995) melaporkan bahwa embung yang sumber airnya berasal dari mata air yang berada di atasnya, di Dusun Sunggingan, Desa Umbulrejo, Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunungkidul, berukuran (12 m x 5 m x 3 m) m^3, tidak mengalami penurunan volume yang banyak, walaupun setiap harinya dimanfaatkan oleh petani sebanyak ± 4 m^3 selama Musim Kemarau/MK (pada bulan Mei – September 1994).

Dari hasil penelitiannya di Selopamioro, Bantul, Yogyakarta, Irawan *et al.* (1999) melaporkan bahwa teknologi "kedung" dapat meningkatkan hasil usaha tani sawah tadah hujan, setara gabah dari 4.230 kg gabah menjadi 11.700 kg ha^{-1} th^{-1} atau meningkat hingga 176%. Peningkatan hasil usaha tani tersebut antara lain disebabkan oleh perubahan pola tanam. Luas lahan yang digunakan untuk "kedung" di lahan sawah tadah hujan adalah sekitar 7% dari luas areal pertanaman, sedangkan untuk lahan kering kedung umumnya dibuat dengan dimensi 7 m x 2,5 m x 3 m atau kapasitas tampung air sekitar 52,5 m^3. Kedung yang dibuat pada sawah tadah hujan lebih sempit dibandingkan kedung pada lahan kering.

Syamsiah *et al.* (1990) melaporkan bahwa embung berukuran 75 m x 50 m x 2 m dengan kapasitas air 6.562 m^3 (kedalaman air rata-rata 1,75 m) dapat mengairi pertanaman palawija/jagung seluas 10,373 ha pada musim kemarau sehingga intensitas tanam (IP) meningkat dari 2 kali menjadi 3 kali yaitu dari padi-padi –bera menjadi padi – padi -palawija. Adapun kelemahan dalam penerapannya adalah: (a) embung akan mengurangi luas areal lahan yang dapat dikelola petani; (b) perlu tambahan biaya dan tenaga untuk pemeliharaan, karena daya tampung embung berkurang akibat adanya sedimen yang ikut tertampung; (c) jika dilapisi plastik atau semen membutuhkan tambahan biaya. Wardana *et al.* (1991) mengemukakan bahwa kendala penerapan atau adopsi embung di Kecamatan Jakenan, Pati adalah modal, hama (menyebabkan kegagalan panen) dan pemilikan lahan yang sempit.

Air sungai, embung dan cekdam merupakan sumber air irigasi alternatif yang berpotensi dan dapat dimanfaatkan untuk irigasi lahan kering pada musim

kemarau di Lampung Tengah. Petani memanfaatkan air tersebut dengan cara memompanya dengan memakai pompa berkekuatan 3,5 – 6 PK (Soelaeman *et al.* 2001b).

Air Tanah (*Ground Water*)

Pemanfaatan air tanah sebagai sumber irigasi merupakan salah satu alternatif pada lahan kering yang langka air permukaan. Air tanah untuk irigasi adalah air yang diambil dari dalam tanah pada kedalaman tertentu dengan menggunakan pompa isap untuk keperluan irigasi. Air tanah dalam (*deep groundwater*) di beberapa tempat tidak digunakan sebagai air irigasi terutama untuk mengairi sawah seperti di Karanganyar, Surakarta. Air tanah yang dipergunakan sebagai air irigasi lahan kering dijumpai di Lampung Tengah (Soelaeman *et al.* 2001b). Rata-rata debit air sumur bor di Kecamatan Terbanggi Besar, Lampung Tengah adalah 23 liter.detik^{-1} yang dirancang untuk dapat mengairi lahan seluas 16,6 ha. Satu kali penyiraman jagung pada musim kemarau memerlukan waktu 11 jam ha^{-1} dengan jumlah pemberian air 910,8 m^3 ha^{-1}, sehingga dalam 3 kali irigasi dipompa air tanah sebanyak 2732,4 m^3 ha^{-1}. Kelas kategori potensi air tanah dan potensi debitnya disajikan pada Tabel 2. Selanjutnya dikemukakan juga bahwa sumber air irigasi melalui pemanfaatan dam parit (*channel reservoir*), yaitu upaya membendung aliran air di alur sungai telah dikembangkan di beberapa wilayah lahan kering seperti di provinsi Jawa barat, Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta.

Tabel 2. Kelas potensi air tanah dan potensi debitnya
Table 2. The potential class and debit of ground water

No	Kategori potensi air tanah	Potensi debit (l detik^{-1})
1	Sangat bagus	>16,67
2	Bagus	5,01 – 16,66
3	Sedang	1,67 – 5,00
4	Buruk	0,41 – 1,66
5	Sangat buruk	< 0,41

Sumber: Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi (2007)

Penggunaan air tanah dalam (dalam air tanah lebih dari 20 m dari permukaan tanah) di Desa Fajar Asri, Gayan Sakti, dan Sumber Agung, Kabupaten Lampung Tengah belum memberikan kontribusi yang nyata dalam meningkatkan pendapatan petani (Soelaeman *et al.* 2001a). Hal ini disebabkan oleh biaya operasional yang tinggi, tetapi hasil tanamannya rendah. Tanaman yang diusahakan di daerah tersebut adalah jagung dan ubi kayu. Tanaman hortikultura semusim seperti cabai belum berhasil diusahakan. Petani masih dihadapkan pada kendala teknik budidaya tanaman hortikultura semusim, disamping kendala ekonomi seperti keterbatasan modal untuk biaya operasi pompa air.

Pemanfaatan irigasi pada lahan kering dapat meningkatkan indeks pertanaman dari 100 % menjadi 300% (Soelaeman *et al.* 2001b; Sutono *et al.* 2001). Pemanfaatan air permukaan yang berasal dari waduk buatan dan embung mempunyai resiko bahwa air akan habis sebelum tanaman berproduksi terutama pada musim tanam ketiga yang disertai dengan kemarau panjang.

ALTERNATIF TEKNIK IRIGASI UNTUK PERTANIAN DI LAHAN KERING

Sistem irigasi moderen dapat dibagi menjadi 5 kategori yaitu irigasi permukaan, irigasi *sprinkle*, irigasi mikro (tetes = *trickle*), irigasi bawah permukaan tanah (*sub-irrigation*), dan irigasi *hybrid* yang merupakan transisi antara dua atau lebih sistem (Kruse *et al.* 1990).

Irigasi Permukaan (*Surface Irrigation*)

Beberapa model sistem irigasi permukaan antara lain (Agus *et al.* 2005): a) penggenangan (*flooding*), b) gulud pembatas (*border dike*), c) sistem guludan (*graded furrow*), d) gulud kecil (c*orrugation*), dan e) sistem tampungan berpematang (*level basin*).

Tabel 3. Pemberian air rata-rata kumulatif (mm) pada sistim irigasi penggenangan dan alur dengan interval yang berbeda untuk tanaman kacang tanah

Table 3. The average cumulative water supply (mm) in different interval of flooding and furrow irrigation systems on peanut

Cara irigasi	Interval irigasi (hari)				
	7	10	15	20	30
Metoda gravimetri :					
Penggenangan seluruh areal petak	5849,5	5181,5	3865,0	3397,5	2843,5
Alur	5133,0	3995,5	3207,5	2767,5	2286,0
Metoda sekat ukur Tipe Thompson :					
Penggenangan seluruh areal petak	5907,5	5263,5	3944,5	3455,0	2860,0
Alur	5185,5	4029,0	3250,0	2812,5	2334,0

Sumber: Nugroho dan Partowijoto (1988)

Sistim irigasi yang berbeda akan memberikan kebutuhan air yang berbeda. Pemberian air rata-rata kumulatif untuk sistim irigasi penggenangan (*flooding*) dan sistim alur (*furrow irrigation*) dengan interval pemberian air yang berbeda pada tanaman kacang tanah (*Arachis hypogea L*) di Daerah Irigasi. Sampean Baru, Jawa Timur, disajikan pada Tabel 3. Sistim irigasi penggenangan membutuhkan air yang lebih banyak dibanding irigasi alur. Hasil tanaman tertinggi dicapai pada interval 15 hari untuk sistim penggenangan (3,35 t ha^{-1} polong kering) dan interval 7 hari untuk sistim irigasi alur yaitu 3,03 t ha^{-1} polong kering (Nugroho dan Partowijoto 1988).

Irigasi Curah (S*prinkler Irrigation*)

Irigasi curah adalah salah satu metode irigasi dimana pemberian air dilakukan dengan penyemprotan air ke udara, jatuh ke permukaan tanah seperti air hujan (Schwab *et al.* 1981). Sedangkan menurut Partowijoto (2002) irigasi curah adalah metode pemberian air pada permukaan tanah melalui pipa-pipa bertekanan tinggi dan mencurahkannya ke udara dalam bentuk butiran-butiran kecil seperti hujan.

Tujuan dari sistem irigasi curah adalah agar air dapat diberikan secara merata dan efisien pada areal pertanaman, dengan jumlah dan kecepatan penyiraman kurang atau sama dengan laju infiltrasi. Dengan demikian dalam proses pemberian air tidak terjadi kehilangan air dalam bentuk limpasan (*run-off*). Faktor-faktor yang mempengaruhi irigasi curah adalah :curah hujan efektif, infiltrasi, evapotranspirasi dan hubungan tanah-air-tanaman.

Jumlah air irigasi yang harus ditambahkan pada sistim irigasi curah akan bervariasi sesuai dengan tekstur tanah dan kedalaman akar tanaman (Pair 1969). Jumlah pemberian air untuk setiap operasi irigasi curah berdasarkan tekstur tanah dan kedalaman perakaran dapat dilihat pada Tabel 4.

Penelitian Sutono *et al.* (2007) menunjukkan bahwa pemberian air irigasi pada level MAD 40 – 60 % dari air tersedia dengan sistim irigasi curah memberikan hasil tanaman cabai dan nilai efisiensi penggunaan air yang paling tinggi (1,92 kg m^{-3}) pada tanah Kanhapludult Tamanbogo, Lampung Timur. Ini berarti bahwa dihasilkan 1,92 kg cabai segar untuk penggunaan setiap m^3 air irigasi.

Irigasi Mikro/Irigasi Tetes

Irigasi mikro adalah sistem irigasi seperti tetes (*drip/trickle*), irigasi bawah tanah (*subsurface irrigation)* dengan pemberian air melalui pipa-pipa di bawah tanah, *bubbler*, dan sistem *spray* atau semprotan (ASAE 1988).

Irigasi tetes merupakan cara pemberian air pada tanaman secara langsung, baik pada permukaan tanah maupun di dalam tanah melalui tetesan secara sinambung dan perlahan pada tanah di dekat tumbuhan. Alat pengeluaran air pada sistim irigasi tetes disebut *emiter* atau penetes (Schwab *et al.* 1981; Kalsim 2003). Setelah keluar dari penetes (*emiter*), air menyebar ke dalam profil tanah secara horizontal maupun vertikal akibat gaya kapilaritas dan gravitasi. Luas daerah yang dibasahi tergantung pada besarnya debit keluaran, jenis tanah (struktur dan tekstur), kelembaban tanah dan permeabilitas tanah (Kalsim 2003).

Tabel 4. Jumlah pemberian air (*inch/acre*) untuk setiap operasi irigasi curah berdasarkan tekstur tanah dan kedalaman perakaran

Table 4. The amount of water (inch/acre) of each sprinkle irrigation operation base on soil texture and root depth

Tekstur tanah	Kedalaman akar (inch)						
	12	18	24	30	36	48	72
Pasir kasar :							
• Seragam	0,45	0,60	0,85	1,20	1,30	1,75	2,60
• Sub-soil kompak	0,45	0,60	1,50	1,75	2,00	2,50	3,00
Pasir halus :							
• Seragam	0,85	1,30	1,75	2,20	2,60	3,00	4,00
• Sub-soil kompak	0,85	1,50	2,00	2,40	2,80	3,25	5,00
Lempung berdebu							
• Seragam	1,10	1,70	2,25	2,75	3,00	4,00	6,00
• Sub-soil kompak	1,10	1,70	2,50	3,00	3,25	4,25	6,25
Lempung berliat atau Liat Berat	0,90	1,40	2,00	2,40	2,85	3,85	5,50

Sumber : Pair (1969)

Hasil penelitian Kurnia *et al.* (2001) di dusun Nawungan, Kecamatan Imogiri, Kabupaten Bantul, memperlihatkan bahwa kebutuhan air irigasi tetes berbeda tergantung interval waktu pengairan dan pola tanam/jenis tanaman (Tabel 5). Hasil tertinggi dicapai pada interval 2 hari sekali untuk tanaman bawang merah dan cabai dan interval 3 hari sekali untuk tanaman tembakau (Tabel 6).

Tabel 5. Jumlah air yang diberikan untuk masing-masing pola tanam dengan interval waktu irigasi yang berbeda pada sistim irigasi tetes di dusun Nawungan, Imogiri, Bantul

Table 5. The amount of water supply with different interval times of irrigation for each cropping pattern on drip irrigation systems in Nawungan Village, Imogiri, Bantul

Interval pemberian air irigasi	Jumlah air yang diberikan (l/12 m^2)			
	Pola A	Pola B	Pola C	Rata-rata
2 hari	6519 b	6316 a	5340 b	6058,3
3 hari	6351 d	5797 c	5368 a	5838,6
4 hari	6432 c	6199 b	5282 c	5971,0
5 hari	6539 a	5412 d	5256 d	5736,0
Rata-rata	6450,3	5931	5311	5900,9

Keterangan: Huruf yang berbeda pada kolom yang sama, berbeda pada taraf 5 % BNJ; Pola A = Bawang merah – tembakau; Pola B = Tembakau – bawang merah; Pola C = Cabai; Sumber: Kurnia *et al.* (2001)

Tabel 6. Produksi tanaman (t ha^{-1}) dengan interval pemberian air yang berbeda pada sistim irigasi tetes di dusun Nawungan, Imogiri, Bantul

Table 6. Crop yields (tonnes ha^{-1}) of drip irrigation systems with different interval times of water supply in Nawungan Village, Imogiri, Bantul

Jenis tanaman	Interval pemberian air			
	2 hari	3 hari	4 hari	5 hari
Pola A				
•Bawang merah	11,5	11,2	10,5	9,9
•Tembakau	10,9	11,4	7,0	6,2
Pola B				
•Tembakau	11,1	15,0	6,2	6,0
•Bawang merah	11,9	10,6	9,5	5,6
Pola C				
•Cabai	13,0	12,8	7,4	5,4

Sumber: Kurnia *et al.* (2001

Guna memanfaatkan air dalam jumlah terbatas untuk budidaya tanaman sayur di lahan kering diperlukan teknologi irigasi hemat air seperti irigasi tetes modern atau irigasi tetes sederhana. Biaya investasi irigasi tetes modern sekitar Rp 25.000.000,- per ha dan biaya operasionalnya Rp 2.000.000,- per musim. Untuk itu diteliti irigasi tetes sederhana dengan harga terjangkau dari bahan botol plastik dengan emitter dari ijuk (Lampung Post, 2008). Hasil penelitian menunjukkan bahwa botol plastik kapasitas 0,65 liter dengan diameter pengencang kumpulan lembaran ijuk 19,1 dan tebal 6,3 mm adalah irigasi tetes emitter ijuk terbaik. Dengan interval selama 2 hari, dapat menghemat 63 % dan menghasilkan efisiensi penggunaan air untuk tanaman sawi tertingi yaitu 82,39 kg m^{-3}.

Irigasi Bawah Permukaan (*Sub-surface irrigation*)

Sistim irigasi bawah permukaan (*subsurface irrigation*) merupakan salah satu bentuk dari *micro irrigation*, yang meletakkan jaringan atau alat irigasinya dibawah permukaan tanah. Sedangkan sub-irigasi dapat menyebabkan evaporasi meningkat dan untuk tanah yang tinggi kadar garamnya, akan terjadi pengumpulan garam di permukaan tanah.

Produksi tanaman semangka meningkat dari 10 t ha^{-1} menjadi 18 t ha^{-1} dengan menggunakan irigasi bawah permukaan (*subsurface irrigation*) berupa pipa-pipa semen yang panjangnya 1 meter dengan diameter 10 cm dan tebal dinding 1 cm yang disambung-sambung dan dihubungkan dengan bak penampung air (Alwie 2001).

Hasil penelitian lain (Saleh dan Setiawan 1998 dalam Saleh dan Setiawan 2001) menginformasikan bahwa sistim irigasi bawah permukaan dengan menggunakan kendi dapat menghemat air yang cukup besar. Diperlukan air sebanyak 45,054 m^3 ha^{-1} untuk pertanaman cabai sampai mencapai rumur 7 bulan dibanding dengan system penyiraman tradisional oleh petani di Pringbaya, Lombok Timur sebesar 18.448,5 m^3 ha^{-1}. Hasil analisa ekonomi penanaman cabai dengan system irigasi kendi mampu memberikan keuntungan bersih Rp 8.500.000,- untuk MT I dan Rp 29.5000.000,- pada MT II, dengan asumsi produksi 1,5 kg per pohon dan harga jual cabai Rp 2000,- per kg. Titik impas dicapai dengan luas penanaman 1 ha untuk satu kali tanam (Setiawan *et al*. 1998 dalam Saleh dan Setiawan 2001). Sistim irigasi kendi ini layak baik secara teknis, ekonomis dan sosial (Saleh dan Setiawan 2001).

STRATEGI IMPLEMENTASI TEKNIK IRIGASI SUPLEMEN UNTUK USAHATANI DI LAHAN KERING

Analisis Agroekosistem

Suatu teknologi tidak dapat diterapkan pada seluruh kondisi, melainkan bersifat *site specific*. Oleh karena itu pemahaman tentang lokasi dimana teknologi tersebut akan diimplementasikan perlu dilakukan. Analisis agroekosistem dengan menggunakan metoda *rapid rural appraisal* (RRA) dan atau *participatory rural appraisal* (PRA) merupakan suatu cara secara cepat untuk memahami kondisi awal atau agroekosistem setempat dimana teknologi tersebut akan diterapkan.

Untuk kepentingan implementasi teknik irigasi, hal-hal yang harus diketahui dari hasil analisis tersebut diantaranya adalah: Sumberdaya alam yang menyangkut tanah (topografi, penggunaan lahan, tekstur, jenis tanah, dll), air (iklim: zona agroklimat, neraca air; sumber air irigasi: curah hujan, air permukaan, air tanah) dan sumberdaya manusia (sosial-ekonomi petani, pengetahuan dan pengalaman petani, kebiasaan petani, jenis tanaman yang diusahakan, pola tanam,persepsi dan preferensi petani) serta kendala penerapan teknologi.

Pemilihan Teknik Irigasi Suplemen Alternatif

Setelah mengetahui kondisi agroekosistem setempat, maka pemilihan teknik irigasi suplemen dilakukan berdasarkan kecocokan antara kondisi agroekosistem dengan kesesuaian lokasi penerapan jenis irigasi suplemen alternatif tertentu. Kriteria kesesuaian lokasi dari masing-masing jenis teknik irigasi suplemen berbeda. Sebagai contoh kriteria kesesuaian lokasi penerapan:

1) Irigasi tetes dapat dilihat pada Tabel 7. Selain itu jenis tanaman yang diusahakan juga menentukan pemilihan teknik irigasi suplemen yang akan diterapkan. Jenis tanaman yang diusahakan sebaiknya tanaman yang bernilai ekonomi tinggi, karena umumnya teknik irigasi suplemen memerlukan biaya yang cukup tinggi.
2) Irigasi permukaan cocok digunakan pada tanah yang bertekstur halus sampai sedang. Untuk tanah bertekstur kasar akan sulit menerapkan sistem ini karena sebagian besar air akan hilang pada saluran (Agus *et al*. 2005), dan yang berupa penggenangan cocok diterapkan pada daerah dengan topografi relatif datar agar pemberian air dapat merata pada areal pertanaman.
3) Sistim irigasi curah cocok pada daerah dimana kecepatan angin tidak terlalu besar, yang menyebabkan sebagian air yang diberikan hilang melalui evaporasi. Dengan demikian efisiensi penggunaan air irigasi yang lebih tinggi dapat dicapai.
4) Sub-irigasi cocok untuk tanah yang rendah kadar garamnya atau untuk tanaman yang toleran terhadap kadar garam tinggi. Adanya lapisan *impermeable* atau muka air tanah alami yang relatif dangkal merupakan persyaratan *subirrigation* supaya kehilangan air melalui perkolasi tidak terlalu besar. *Subirrigation system* biasanya dikombinasikan dengan sistem drainase dan dengan perpaduan ini biaya akan dapat ditekan (Agus *et al*. 2005).
5) Sistim irigasi bawah permukaan lebih sesuai diterapkan pada daerah dengan tekstur tanah sedang sampai kasar, agar tidak sering terjadi penyumbatan pada lubang-lubang tempat keluarnya air. Dengan demikian target pengairan untuk mengairi langsung pada sasaran akar tanaman dapat dicapai.

Tabel 7. Kriteria kesesuaian lokasi penerapan irigasi tetes

Table 7. Site suitability criteria on application of drip irrigation systems

Kategori	Kriteria Penerapan
Iklim	Zona agroklimat E, D, C3
Lahan	1. Tekstur kasar, solum dangkal, laju infiltrasi tinggi, peka erosi 2. Jenis tanah: Regosol, Rendzina, litosol, Grumusol dan Andosol 3. Laju infiltrasi > 13 mm.jam^{-1} 4. Luas, topografi datar dan bentuk petakan lahan yang teratur
Sumber air	1. Air tanah, mata air, air permukaan (danau, embung, waduk) 2. Tersedia sumber air yang cukup sepanjang tahun 3. Kualitas air yang bebas kotoran dan tidak mengandung Fe
Tanaman	Bernilai ekonomi tinggi
Sosial Ekonomi	1. Motivasi petani tinggi 2. Kemampuan teknis dan finansial petani memadai 3. Kelembagaan usahatani yang siap

Sumber: Kalsim (2003)

Faktor lain yang menyebabkan suatu teknologi dipilih dan atau diadopsi oleh petani adalah kesederhanaan teknologi baik pada saat penerapan maupun pemeliharaan. Masing-masing teknik irigasi menghendaki syarat pengelolaan yang spesifik. Teknik irigasi suplemen dan variabel pengelolaan yang menentukan keragaan irigasi di lahan pertanian disajikan pada Tabel 8.

Peningkatan Efisiensi Penggunaan Air (*Water Use Efficiency*)

Istilah efisiensi pada umumnya dipahami sebagai perbandingan antara out put terhadap in put yang digunakan. Efisiensi penggunaan air didefinisikan sebagai banyaknya hasil (produksi) tanaman per satuan air yang dipergunakan (Arsyad 2010). Passiora (1977) mengusulkan bahwa dalam kondisi air yang terbatas, biomas merupakan fungsi dari penggunaan air oleh tanaman (WU = *water used*) dan efisiensinya (WUE = *water used effisiency*) adalah yang dikonversi menjadi biomas, berarti effisiensi penggunaan air (WUE) adalah biomas yang dihasilkan per unit penggunaan air. Hasil dapat dinyatakan dalam cara yang bervariasi, tergantung minat petani. Pada beberapa tempat hanya biji yang dianggap penting, di lain pihak residu dan limbah tanaman bisa sangat berharga sebagai makanan ternak.

Tabel 8. Teknik irigasi suplemen dan variabel pengelolaan yang menentukan keragaan irigasi di lahan pertanian

Table 8. Supplemental irrigation techniques and management variables to determine the performance of irrigation in agricultural land

Sistem irigasi	Distribusi keseragaman	Efisiensi penggunaan
Irigasi permukaan		
Variabel sistem	Unit laju aliran (*inflow*)	Unit laju aliran (*inflow*)
	Panjang *furrow, border,basin*	Panjang *furrow, border,basin*
	Koefisien kekasaran hidraulik	Koefisien kekasaran hidraulik
	Kemiringan longitudinal	Kemiringan longitudinal
	Levelling precision	*Levelling precision*
	Sifat infiltrasi tanah	Sifat infiltrasi tanah
	Bentuk *furrow, border,basin*	Bentuk *furrow, border,basin*
Variabel pengelolaan	Waktu pemutusan	Waktu pemutusan
		Defisit air tanah waktu irigasi
Sprinkler		
Variabel sistem	Tekanan pada sprinkler	Tekanan pada sprinkler
	Variasi tekanan pd alat	Variasi tekanan pd alat
	Jarak sprinkler	Jarak sprinkler
	Debit sprinkler	Debit sprinkler
	Diameter pembasahan	Diameter pembasahan
	Pola distribusi air sprinkler	Pola distribusi air sprinkler
	Sudut *jet* sprinkler	Sudut *jet* sprinkler
	Arah dan kecepatan angin	Arah dan kecepatan angin
		Sifat infiltrasi tanah
		Laju penggunaan sprinkler
Variabel pengelolaan	Pemeliharaan	Pemeliharaan
		Lama waktu irigasi
		Defisit air tanah waktu irigasi
Irigasi mikro/drip		
Variabel sistem	Tekanan pada emitter	Tekanan pada emitter
	Variasi tekanan pada alat	Variasi tekanan pada alat
	Regim aliran dari emitter	Regim aliran dari emitter
	Variasi emitter pada debit	Variasi emitter pada debit
	Variasi emitter (dari pabrik)	Variasi emitter (dari pabrik)
	Kemampuan menyaring	Kemampuan menyaring
		Konduktivitas hidraulik tanah
		Sifat infiltrasi tanah
Variabel pengelolaan	Pemeliharaan	Pemeliharaan
		Kondisi air tanah
		Lama waktu irigasi
		Frekuensi irigasi

Sumber : Pereira *et al.* (2002)

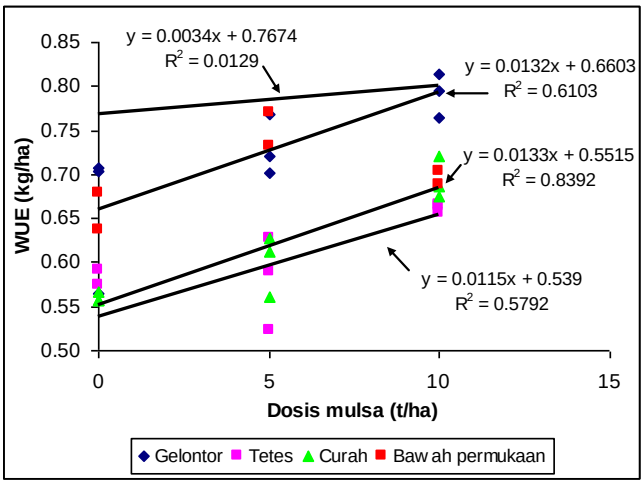
Pada prakteknya, sulit untuk memisahkan penggunaan air kedalam yang hilang melalui transpirasi dan yang hilang melalui evaporasi, oleh karenanya digabung menjadi evapotranspirasi (ET) (Gregory 1989). Menurut Hillel (1990), rasio tersebut dapat mencapai 500 atau lebih pada daerah atau musim yang mempunyai evaporativity yang tinggi.

Dari hal tersebut diatas, dapat diketahui bahwa ada 3 cara yang prinsip untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air yaitu: (1) meningkatkan efisiensi transpirasi, (2) meningkatkan total suplai air di lapang, dan (3) jika suplai air terbatas, menurunkan kehilangan air selain yang digunakan untuk transpirasi. Zhang *et al.* (2003) mendefinisikan WUE sebagai rasio hasil tanaman (biasanya hasil yang mempunyai nilai ekonomi) terhadap air yang digunakan untuk berproduksi.

Faktor-faktor yang mempengaruhi WUE adalah (Svehlik, 1987):

1. Teknik/metoda irigasi.
2. Persiapan tanah, pengolahan tanah dan kondisi topografi.
3. Sifat-sifat tanah seperti infiltrasi, tekstur tanah dan struktur tanah.
4. Kelembaban tanah pada zona perakaran pada saat irigasi diberikan.
5. Iklim dan kondisi meteorologi selama irigasi.
6. Tata letak sistim irigasi: panjang dan jarak furrow, border strips, jarak dan rancangan sprinkler.
7. Operasi sistim irigasi misalnya posisi sprinkler pada saat aplikasi.
8. Dimensi irigasi seperti kedalaman aplikasi, frukuensi irigasi.

Cara untuk memperbaiki WUE melalui tanaman merupakan teknik konservasi air secara luas. Kesuburan tanah yang tinggi, seleksi/pemilihan tanaman, perbaikan varitas, penurunan evaporasi dan manipulasi kultur tanaman meningkatkan produksi tanaman untuk suplai air yang diberikan (Greb 1983). Suksesnya pertanaman di lahan kering terletak pada penggunaan lahan, efisiensi penggunaan air (WUE) dan efisiensi penggunaan hara yang selanjutnya mencapai produksi biomas yang lestari (*sustainable*).



Gambar 1. Hubungan dosis mulsa dengan efisiensi penggunaan air (WUE) tanaman cabai untuk setiap teknik irigasi pada tanah *Typic Kanhapludult* Tamanbogo, Lampung Timur

Figure 1. The relationship between the dose of mulch and water used efficiency (WUE) of chilli in each irrigation techniques on Typic Kanhapludult soil in Tamanbogo, East Lampung

Beberapa teknologi untuk memperbaiki WUE adalah (Gupta dan Rajput 1999): Konfigurasi lahan (gulud dan selokan, bedengan, *border strips*, penterasan, surjan, teknik pemanenan air), praktek agronomis (cara pengolahan tanah), sistem pertanaman lorong (*alley cropping*), pengendalian gulma, sistem *intercropping*, *strip cropping/vegetative barriers*, penggunaan mulsa dan periode penggunaan air. Zhang *et al.* (2003) menyimpulkan bahwa WUE dan hasil tanaman dapat dipertahankan atau ditingkatkan dengan cara mengurangi jumlah air irigasi pada fase *revival*, fase perkembangan batang atau pada fase pengisian biji tanaman gandum. Dengan demikian penurunan jumlah air irigasi pada fase pertumbuhan tertentu tidak menurunkan WUE dan hasil tanaman**.** Haryati *et al.* (2010) menunjukkan bahwa WUE dapat dioptimalkan melalui implementasi konsep MAD, penggunaan teknik irigasi yang tepat (Tabel 9) (Haryati 2010; Haryati *et al.* 2011) dan penggunaan mulsa sisa tanaman (Gambar 1) (Haryati 2010; Haryati *et al.* 2011).

Beberapa penelitian terdahulu telah memperlihatkan bahwa efisiensi penggunaan air irigasi (*irrigation water use efficiency* = IWUE) tanaman jagung yang menggunakan irigasi tetes bawah permukaan (*subsurface drip* = SSD) berkisar dari 2,83 – 22,7 kg m^{-3} sementara tetes (*surface drip* = SD) 2,35 – 12,7 kg m^{-3} dan curah 0,44 – 6,59 kg m^{-3} serta irigasi *furrow* (FI) 0,86

– 5,6 kg m^{-3} (Sammis 1980; Bogle *et al.* 1989 *dalam* Hassanli *et al.* 2009). Hassanli *et al*. (2009) melaporkan bahwa IWUE tanaman jagung yang menggunakan teknik FI berkisar dari 1,39 – 1,59 kg m^{-3}; SSD 1,91 – 2,16 kg m^{-3}; SD 1,67 – 1,79 kg m^{-3} dan *convensional furrow* 0,61 – 0,62 kg m^{-3}. Vories *et al*. (2009) menunjukkan IWUE tanaman jagung dengan menggunakan sistim SSD berkisar dari 0,4 – 1,5 kg m^{-3} dan pemberian air irigasi 60 % dari kebutuhan air harian (evapotranspirasi =ET) memberikan IWUE yang lebih tinggi dibandingkan 100 % ET.

Tabel 9. Efisiensi penggunaan air (WUE) tanaman cabai dengan berbagai teknik irigasi pada tanah Typic Kanhapludult Tamanbogo, Lampung Timur

Table 9. Water used efficiency (WUE) of chilli with different irrigation techniques on Typic Kanhapludult soil in Tamanbogo, East Lampung

Teknik irigasi	Hasil	WU	WUE	WUE
	(kg ha^{-1})	(m^3 ha^{-1})	(kg m^{-3})	(cm t^{-1})
Gelontor	4476,57	6160,01	0,73	13,8
Tetes	3731,63	6257,67	0,60	16,8
Curah	3854,44	6232,18	0,62	16,2
Bawah permukaan	4890,96	6235,48	0,78	12,7

Keterangan:
Sumber: Haryati *et al.* 2011;
WU=*water use* = penggunaan air oleh tanaman, WUE= *water use efficiency*

Teknik irigasi yang memberikan air pada zone perakaran secara parsial (*alternate partial root-zone irrigation* = APRI), seperti SSD, menurunkan konsumsi air 31,7 – 32,4 % dan meningkatkan WUE 41,2 – 41,8 % serta meningkatkan kualitas fisiologis tanaman jagung dibandingkan dengan irigasi konvensional yang memberikan air ke tanah dengan *tap water* pada setiap kali penyiraman (Li *et al.* 2010). Peneliti lain (Erdem *et al.* 2006) melaporkan bahwa teknik irigasi tetes memberikan nilai WUE tanaman kentang yang lebih tinggi (6,63 – 9,47 kg m^{-3}) dibandingkan teknik irigasi *furrow* (4,70 – 5,19 kg m^{-3}).

Teknik irigasi tetes bawah permukaan (SSD) terlihat lebih unggul dalam hal penggunaan air irigasi, peningkatan produksi tanaman dan WUE. Harris (2005) menyatakan bahwa teknik ini mempunyai beberapa kelebihan atau keuntungan dalam hal irigasi, agronomi tanaman, efisiensi penggunaan air dan peningkatn produksi tanaman. Lebih lanjut Harris (2005) juga mengemukakan bahwa teknik irigasi SSD juga mempunyai keterbatasan/kelemahan diantaranya adalah: penyumbatan pada emiter (*emitter clogging*), akumulasi garam (*salt accumulation*) dan kerusakan mekanik (*mechanical damage*).

Penggunaan mulsa mempengaruhi hasil tanaman, sehingga nilai efisiensi penggunaan airpun akan dipengaruhi oleh adanya penggunaan mulsa. Pengaruh penggunaan mulsa terhadap efisiensi penggunaan air berbeda pada setiap teknik irigasi (Gambar 1). Pada teknik irigasi gelontor, tetes dan curah, dosis mulsa meningkatkan efisiensi penggunaan air (WUE), dengan koefisien determinant (R^2) yang tinggi yaitu 0,61; 0,58; dan 0,84 masing-masing untuk teknik irigasi gelontor, tetes dan curah (Haryati 2010; Haryati *et al*. 2011). Ini berarti dosis mulsa berkorelasi positf nyata dengan WUE pada ke-3 teknik irigasi tersebut. Teknik irigasi gelontor, tetes dan curah merupakan teknik irigasi permukaan sehingga evaporasi masih cukup tinggi. Pemberian mulsa menurut Kipps (1983 *dalam* Amayreh and Al-Abed, 2005) dan Wang *et al*. (2009) menurunkan evaporasi yang berpengaruh nyata terhadap penurunan evapotranspirasi tanaman sehingga mengurangi kebutuhan air tanaman. Rita *et al.* (2007) menunjukkan bahwa temperatur tanah, seperti juga evaporasi, menurun setelah pemberian mulsa jerami. Rendahnya evaporasi tanah pada pemulsaan ini memfasilitasi tingginya efisiensi penggunaan air dan hasil tanaman terutama pada saat kering atau musim kemarau.

KESIMPULAN

Lahan kering secara potensial dapat ditingkatkan produktivitasnya apabila: (1) masalah fluktuasi ketersediaan air dapat diminimalkan, (2) kapasitas tampung air DAS baik secara alamiah maupun artifisial dapat dimaksimalkan, (3) efisiensi penggunaan air dan jenis komoditas yang diusahakan dapat dioptimalkan.

Hal yang penting untuk diperhatikan dalam strategi implementasi teknik irigasi suplemen di lahan kering untuk mendukung adaptasi perubahan iklim adalah efisiensi penggunaan air, pemanfaatan sumber air irigasi potensial yang optimum, pemilihan teknik irigasi suplemen yang tepat dan sesuai dengan karakteristik sumberdaya lahannya, pemilihan komoditas pertanian yang bernilai ekonomis tinggi serta kesesuaian dengan kondisi sosial-ekonomi dan budaya pengguna/petani setempat.

DAFTAR PUSTAKA

Agus, F., E. Surmaini dan N. Sutrisno. 2005. Teknologi Hemat Air dan Irigasi Suplemen. Teknologi Pengelolaan Lahan Kering *dalam* Adimihardja dan Mappaona (*eds*). Menuju Pertanian Produktif dan Ramah Lingkungan. Edisi II. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Badan Litbang Pertanian. Deptan. Hlm: 223 – 245

Agus, F. 2012. Konservasi Tanah dan Karbon untuk Mitigasi Perubahan Iklim Mendukung Keberlanjutan Pembangunan Pertanian. Orasi Pengukuhan Profesor Riset Bidang Hidrologi dan Konservasi Tanah. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Kementrian Pertanian. Bogor, 26 September 2012. 68 p

Arsyad, S. 2010. Konservasi Tanah dan Air. Penerbit IPB (IPB Press). 472 p

American Society of Agricultural Engineering (ASAE). 1988. Design and installation of micro irrigation systems. *In* Standards 1988. EP405, ASAE, St. Joseph, MI. P.536-539.

Amayreh, J. and N. Al-Abed. 2005. Developing crop coefficients for field-grown tomato (*Lycopercicon Esculentum* Mill) under drip irrigation with black plastic mulch. Agric. Water Manage . Elsevier B. V. 73 (2005) 247- 254

Alwie, B.M.S. 2001. Sistim Irigasi Bawah Tanah Bahan Semen untuk Tanaman Semangka (*Citrullus vullgaris*). Prosiding Seminar Nasional. Pengelolaan Sumberdaya Alam untuk Mencapai Produktivitas Optimum Berkelanjutan. Volume II. Bandar Lampung, 26 – 27 Juni 2001. Universitas Lampung. Bandar Lampung. Hlm: 603 - 606

BPS. 2003. Statistik Indonesia. Badan Pusat Statistik. Jakarta.

Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi. 2007. Pengelolaan Sumberdaya Iklim dan Hidrologi untuk Mendukung Primatani. http://balitklimat.litbang.deptan. go.id. 2 Desember 2008.

Badan Litbang Peranian, 2011. Road Map Strategi Sektor Pertanian Menghadapi Perubahan Iklim (Revisi). Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Kementrian Pertanian.

Dastane, N.G. 1974. Effective Rainfall in Irrigated Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper. FAO, UN. Rome. 84 p

Doorenbos, J. and W.O. Pruit. 1977. Guideline for Predicting Crop Water Requirement. FAO Irrigation and Drainage Paper. Vol. 24. Rome. 91 p

Doorenbos, J. and A.H. Kassam. 1979. Yield Respons to Water. FAO Irrigation and Drainage Paper. Vol. 33. Rome. 156 p

Erdem, T., Y. Erdem, H. Orta, and H. Okursoy. 2006. Water-yield relationships of potato under diferent irrigation methodes and regimes. Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.), May/June 2006 v. 63, n. 3, p.226-231,.

Greb, B. W. 1983. Water Conservation :Central Great Palins. *In* Dregne , H. E., and W.O. Willis (eds). Dryland Agriculture. ASA. CSSA. SSSA. Medison. Wisconsin. USA. Pp. 66-67.

Gregory, P.J. 1989. Water-use efficiency of crops in Semi-Arid Tropic. In Soil, Crop and Water management in The Sudano-Sahelian Zone. International Crop Research Institute for The Semi-Arid Tropics (ICRISAT). Patancheru, Andhra Pradesh 502 324. India. Pp. 85-98.

Gupta, R.K., and R.P. Rajput. 1999. Crop-Water Relationship Studies in Dryland Agriculture. *In* Singh *et al.* (eds). Fifty Years of Dryland Agricultural Research in India. Central Research Institut for Dryland Agriculture. Santoshnagar, Hyderabad – 500 059.

Hansen, V.E., O.W. Israellsen, dan G.E. Stringham. 1992. Dasar-dasar dan Praktek Irigasi. Terjemahan Erlangga. Jakarta.

Hillel, D. 1990. Role of irrigation in Agricultural systems. *In* B.A. Stewart and D.R. Nielsen (eds.) Irrigation of Agricultural Crops. Agronomy 30. American Society of Agronomy, Madison, WI. Pp. 5-30.

Harris, G. 2005. Sub-surface drip irrigation: Advantages and limitations. DPI&F note. Note No: 17650. ISSN 0155 – 3054. Department of Primary Industries and Fisheries. Quennsland Government. Delivery Business Group. p 6.

Hassanli, A.M., A.E. Mohammad and B. Simon. 2009. The effects of irrigation methods with effluent and irrigation shceduling on water use efficiency and corn yields in an arid region. Agric. Water Manage. Elsevier B.V. 96 (2009) 93 – 99.

Haryati, U. 2010. Peningkatan Efisiensi Penggunaan Air Beberapa Teknik Irigasi pada Pertanaman Cabai pada Tanah Typic Kanhapludult Lampung. Disertasi. Institut Pertanian Bogor. 125 p

Haryati, U., A. Abdurachman dan K. Subagyono. 2011. Efisiensi Penggunaan Air Berbagai Teknik Irigasi Untuk Pertanaman Cabai di Lahan Kering Pada Typic Kanhapludult Lampung. Prosiding Sminar Nasional Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor, 30 November – 1 Desember 2010. Buku III. Pengelolaan Air, Iklim dan Rawa. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Litbang Pertanian. Kementrian Pertanian. Hlm: 23 - 46

Haryati, U., N. Sinukaban, K. Murtilaksono, dan A. Abdurachman. 2010. *Management Allowable Depletion (MAD) Level* untuk Efisiensi Penggunaan Air Tanaman Cabai pada Tanah Typic Kanhapludults Tamanbogo, Lampung. Jurnal Tanah dan Iklim No 31, Juli 2010. Kementrian Pertanian. Badan Litbang Pertanian. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Hlm 11 - 26

Haryono dan Irsal Las. 2011. Strategi Mitigasi dan Adaptasi Terhadap Dampak Perubahan Ikkim Global. *http://pse.litbang.deptan.go.id/ind/**pdf**files/Pros_MU_Irsal_2011*. 26 Februari 2014.

Hidayat, A. dan A. Mulyani. 2005. Lahan Kering Untuk Pertanian d*alam* Adimihardja dan Mappaona (*eds*.). Teknologi Pengelolaan Lahan Kering. Menuju Pertanian Produktif dan Ramah Lingkungan. Edisi II. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan

Agroklimat. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian. Hlm 7 – 38

Irianto, G. dan E. Surmaini. 2002. Analisis Potensi dan Kebutuhan Air untuk Menyusun rekomendasi Irigasi Suplementer tanaman Tebu Lahan Kering. Jurnal Tanah dan Iklim. Nomor 20, Desember 2002. ISSN 1410-7244. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Badan Litbang Pertanian. Departemen Pertanian.

Irawan, B. Hafif, dan Suwardjo. 1999. Prospek pengembangan kedung (embung mikro) dalam peningkatan produksi pangan dan pendapatan petani: Studi kasus di Desa Selopamioro, Bantul, Yogyakarta.. *Dalam* Prosiding Seminar Nasional Sumberdaya Lahan, Bogor 9-11 Feb. 1999. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor. Hal 21-38

IPCC. 2007. Climate Change 2007: Impact, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the 4th Asseeement Report. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK.

James, L.G. 1988. Principle of Farm Irrigation System Design. John Willey & Sons. Inc. New York. 265 p

Kalsim, D.K. 2003. Prosedur Desain Irigasi Tetes (*Tricle Irrigation*). Jurusan Teknik Pertanian. Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor.

Kruse, E.G., D.A. Bucks, and R.D. von Bernuth. 1990. Comparison of irrigation systems.. *In* B.A. Stewart and D.R. Nielsen (eds.) Irrigation of Agricultural Crops. Agronomy 30. American Society of Agronomy, Madison, WI. Pp. 475-508

Kurnia, U., M.S. Djunaedi dan G. Irianto. 2001. Pengembangan teknik irigasi hemat air pada lahan kering. Laporan Akhir No 23-d/Puslitbangtanak/ 2001. Bagian Proyek Penelitian Sumberdaya Lahan dan Agroklimat dan Proyek Pengkajian Teknologi Pertanian Partisipatif. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian.

Kartiwa, B. dan A. Dariah. 2012. Teknologi pengelolaan air lahan kering. *Dalam* Prosfek Pertanian Lahan Kering dalam Mendukung Ketahanan pangan. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Kementrian Pertanian. Hlm 103-122.

Lampung Post. 2008. Emiter Ijuk Mampu Atasi Kekurangan Air. http: //www.lampungpost.com. 15 Desember 2008.

Las, I., A. Unadi, F. Agus. 2010. Consept Note: Sistem Pertanian Efisien Karbon. Monograf. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan (BBSDLP). Badan Litbang Pertanian.

Li, F., C. Wei, F. Zhang, J. Zhang, M. Nong and S. Kang. 2010. Water-use efficiency and physiological responses of maize under partial root-zone irrigation.Agric. Water Manage. (2010). doi:10.1016/j.agwat. 2010. 01.024.

Mazwar, Abdullah Abas Id., dan B. Hafif. 1995. Embung dan peranannya dalam pengembangan potensi sumber daya lahan di perbukitan kritis Umbulrejo. Prosiding Lokakarya dan Ekspose Teknologi Sistem Usaha tani Konservasi dan Alat Mesin Pertanian. Yogyakarta, 17 – 19 Januari 1995. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor. Hlm: 453-462

Nugroho dan Partowijoto. 1988. Pengaruh cara dan interval irigasi terhadap penggunaan air dan hasil panen tanaman kacang tanah (*Arachis hypogea L.*) di D.I. Sampean Baru, Jawa Timur. Keteknikan Pertanian Th VI (2): 68 – 78.

Pair, C. H. 1969. Sprinkler Irrigation. 3rd ed. Editor's Press, Hyattsville, Md USA.

Passiora, J.B. 1977. Grain yield, harvest index and water- use of wheat. J. Aust. Ins. Agrc. Sci. 43: 117-120.

Partowijoto, A. 2002. Penelitian Kebutuhan air lahan dan Tanaman di Beberapa Daerah Irigasi. Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pengairan. Vol. 16 No. 49 Desember 2002. ISSN 02-1111. Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air. Badan Litbang Permukiman dan Prasarana Wilayah, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.

Panda, R. K. and S.K. Behera. 2003. Effective Management of Irrigation Water for Wheat Crop Under Deficit Condition. Proceedings of the 1st International conference on Hydrology and water recources in Asia Pasific region Vol 1. APHW 2003. Palu-lu Plaza, Kyoto, Japan 13 – 15 March 2003.

Pereira, L. S., T. Oweis, A. Zairi. 2002. Irrigation management under water scarcity . Agric. Water Manage. 57, 175-206.

Rita, D., I. Joachim and S. Thilo. 2007. The effect of mulching and tillage on the water and temperature regimes of a loess soil: experimental findings and modeling. Soil Tillage Res. 92: 52-63.

Saleh, E. dan B.I. Setiawan. 2001. Sistem Irigasi Kendi pada Budidaya Tanaman Cabai. Prosiding Seminar Nasional. Pengelolaan Sumberdaya Alam untuk Mencapai Produktivitas Optimum Berkelanjutan. Volume II. Bandar Lampung, 26 – 27 Juni 2001. . Universitas Lampung. Bandar Lampung. Hlm: 607 - 612

Schwab, G.O., R.K. Frevert, T.W. Edmister and K.K. Barnes. 1981. Soil and Water Conservation Engineering. Third Edition. John Wiley & Sons, Inc., Canada.

Suharsono, H., J.S. Baharsyah, I. Las dan R. Hidayati. 1996. Neraca air lahan klimatik di Indonesia pada suatu kabupaten. Laporan Hasil Penelitian Lembaga Penelitian Institut Pertanian Bogor. Bekerjasama dengan Agricultural Research Management Project. Badan Litbang Pertanian.

Soelaeman, Y., Anny Mulyani, Irawan, dan Fahmuddin Agus. 2001 a. Evaluasi teknis dan ekonomis beberapa alternatif sistem irigasi lahan kering. Laporan Akhir Tahun Anggaran 2001. Bagian Proyek Penelitian Sumberdaya Lahan dan Agroklimat dan Proyek Pengkajian Teknologi Pertanian Partisiaptif. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian.

Soelaeman, Y., Anny Mulyani, Irawan, S. Sutono dan Sudrajat. 2001 b. Potensi Irigasi Lahan Kering Tingkat Petani: Studi Kasus di Kecamatan Terbanggi Besar dan Bangunrejo, Lampung Tengah. Prosiding Seminar Nasional. Pengelolaan Sumberdaya Alam untuk Mencapai Produktivitas Optimum Berkelanjutan. Volume II. Bandar Lampung, 26 – 27 Juni 2001. . Universitas Lampung. Bandar Lampung. Hlm; 579 - 590

Sutono,S., S. Wiganda, I. Isyafudin, dan F. Agus. 2001. Pengelolaan sumberdaya air dengan teknologi input tinggi. Laporan Akhir No 20-c/Puslitbangtanak/2001. Bagian Proyek Penelitian Sumberdaya Lahan dan Agroklimat dan Proyek Pengkajian Teknologi Pertanian Partisipatif. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian.

Sutono, S., U. Haryati, K. Subagyono. 2007. Optimalisasi Irigasi Tanaman Cabai di Lahan Kering. Prosiding Seminar Nasional Sumberdaya Lahan Pertanian. Buku III. Bogor, 14 – 15 September 2006. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Litbang Pertanian. Deptan. Hlm: 339 - 358

Svehlik, Z.J. 1987. Estimation of irrigation water equirements. In Rydzewsky, J. R. (ed) Irrigation Development planning, An Introduction for Engieers. John Willey & Sons. Chichester. Pp. 115 – 143.

Syamsiah, I., Suprapto, dan A.M. Fagi. 1990. Pemberian Mulsa dan Frekuensi Penyiraman pada Jagung dengan Memanfaatkan Sumber Air Embung Desa. Reflektor 3 (1-2): 25-28.

Syamsiah, I., P. Wardana, Z. Arifin, A.M. Fagi. 1994. Embung. Kolam Penampung Air Serbaguna. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian.

Vories, E.D., P.L. Tacker, S.W. Lancaster and R.E. Glover. 2009. Subsurface drip irrigation of corn in the United State Mid-South. Agric. Water Manage. Elsevier. B. V. 96 (2009) 912 – 916.

Wardana, I.P., I. Syamsiah dan A.M. Fagi. 1991. Potensi dan Kendala Pengembangan Embung di Lahan Sawah Tadah Hujan (Kasus Kecamatan Jaken, Pati). Reflektor 3 (1-2) :15- 22.

Withers, B. and S. Vipond. 1974. Irrigation: Design and Practice. Bastford Academic and Educational Limited. London. Pp. 73-74.

Wang, Y., Z. Xie, S.S. Malhi, C.L. Vera, Y. Zhang and J. Wang. 2009. Effects of rainfall harvesting and mulching technologies on water use efficiency and crop yield in the semi-arid Loess Plateau, China. Agric. Water Manage. 96: 374-382.

Zhang Yongqiang, Yu Qiang, Shen Yanjun, Liu Changming. 2003. Impact of Irrigation Schedules on Crop Production and Water Use Efficiency in The North China Plain. Proceedings of the 1st International conference on Hydrology and water recources in Asia Pasific region Vol 1. APHW 2003. Palu-lu Plaza, Kyoto, Japan 13 – 15 March 2003.