

POTENSI SUMBER DAYA AIR DAN DESAIN PENGELOLAAN AIR KP MAROS, KAB. MAROS DAN KP BAJENG, KAB. GOWA, PROVINSI SULAWESI SELATAN

Sidik Haddy Tala'ohu dan Haryono

Peneliti Balitbangtan di Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi

***Jl. Tentara Pelajar No. 1a, Kampus Penelitian Pertanian Cimanggu-Bogor
E-mail: s_talaohu@yahoo.com***

ABSTRAK

Kebun percobaan (KP) Maros dan KP Bajeng merupakan bagian aset Balitbangtan, yakni berupa sebidang lahan dengan wilayah agroekosistem lahan kering yang dikelola Balai Penelitian Tanaman Sereali, Maros, Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan (Puslitbangtan). Fungsi utama kebun percobaan adalah mendukung pelaksanaan kegiatan penelitian, pengkajian dan pengembangan inovasi teknologi pertanian berkaitan dengan produksi benih sumber. Pengelolaan dan pemanfaatan kebun percobaan belum optimal terutama terkait dengan pengelolaan sumber daya air. Guna optimasi pengelolaan sumber daya air, maka dilakukan identifikasi potensi ketersediaan sumber daya air, analisis dan desain, eksploitasi, dan implementasi teknologi pengelolaan berdasarkan agro ekosistem untuk meningkatkan dan mengoptimalkan fungsi serta manfaat kebun percobaan baik dari segi penelitian dan pengkajian, sumber daya genetik dan sarana desiminasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa potensi ketersediaan sumber daya air di Kebun Percobaan (KP) Maros dan KP Bajeng terdiri atas: air permukaan berupa: air hujan, mata air, simpanan cekungan tanah/embung; dan air tanah berupa: sumur gali kedalaman < 5-15 m. Irigasi curah menggunakan sistem furrow, streamline, big gun sringkler dan sistem penggenangan adalah alternatif teknik yang dapat diterapkan guna optimasi pemanfaatan sumber daya air dan peningkatan produktivitas lahan di Kebun Percobaan dengan efisiensi pemakaian air > 85 % agar produktivitas lahan dapat ditingkatkan.

Kata kunci: Efisiensi penggunaan air, produktivitas KP

PENDAHULUAN

Kebun Percobaan (KP) merupakan salah satu aset Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (Balitbangtan), berupa sebidang lahan pada wilayah agroekosistem tertentu yang dilengkapi dengan sarana dan prasarana pendukung. KP mempunyai fungsi utama untuk mendukung pelaksanaan kegiatan penelitian, pengkajian dan pengembangan inovasi teknologi pertanian terutama berkaitan dengan konservasi *ex-situ* sumber daya genetik, produksi benih sumber pada skala lapangan sekaligus sebagai sarana *show window* inovasi teknologi pertanian. KP juga dapat dimanfaatkan sebagai kebun produksi, pendukung ketahanan pangan, maupun sebagai wahana agrowidyawisata (Anonimous, 2013). Dengan demikian, KP berperan sangat strategis sebagai sarana pelaksanaan tugas dan fungsi Unit Pelaksana Teknis (UPT) dan sebagai wahana untuk menghasilkan Pendapatan Negara Bukan Pajak (PNBP).

Disebagian besar UPT Balitbangtan, pengelolaan dan pemanfaatan kebun percobaan belum optimal terutama terkait dengan pengelolaan sumber daya air. Selain teknik budi daya dan pemupukan, kuantitas dan kualitas hasil tanaman yang dibudi

dayakan serta produktivitas lahan di kebun percobaan dapat ditingkatkan keragaannya melalui optimasi pengelolaan sumber daya air (Anonymous, 2013).

Kirmanto (2012), mengatakan bahwa pengelolaan sumber daya air yang efektif dan efisien perlu ditingkatkan guna menghindari terjadinya krisis energi dan air. Salah satu upaya yang dilakukan pemerintah yakni dengan membangun bendungan untuk pembangkit listrik tenaga air (PLTA) yang merupakan pemanfaatan energi baru dan terbarukan, serta pembangunan bendung untuk penyediaan air bagi kebutuhan lainnya seperti irigasi, domestik dan industri. Meningkatnya tekanan terhadap sumber daya air di beberapa tempat sudah semakin besar, disebabkan oleh peningkatan jumlah penduduk dan permintaan akibat pertumbuhan ekonomi dan proses urbanisasi (Pasandaran, 1996). Karena ketersediaan air secara kualitas cenderung menurun, maka dapat mempengaruhi pemenuhan air untuk kebutuhan rumah tangga, sektor pertanian, industri, dan lingkungan.

Menurut Las *et al.* (2000; 2007), implementasi teknik irigasi sangat tepat untuk pengembangan lahan kering, mengingat pada saat ini lahan kering semakin strategis dalam program ketahanan pangan nasional dan pengembangan agribisnis. Dari hasil penelitian peningkatan intensitas pertanaman menunjukkan bahwa tanaman kedelai dan jagung merupakan tanaman palawija utama di Indonesia yang relatif tidak boros air. Peningkatan indeks pertanaman pada dasarnya adalah pemanfaatan sumber daya air dan lahan secara optimal. Potensi ketersediaan air sangat menentukan jenis tanaman yang ditanam. Jika potensi air relatif besar, jenis tanaman yang sebaiknya ditanam adalah padi. Sedangkan pada daerah dengan ketersediaan air terbatas, lahan sebaiknya ditanami palawija (kedelai dan jagung). Melalui penerapan teknik rekayasa teknik irigasi, efisiensi irigasi dan air, serta pengembangan komoditas unggulan bernilai ekonomi tinggi dapat ditingkatkan dan mampu membiayai investasi yang ditanamkan sekaligus memberikan keuntungan yang memadai (Dahigaonkar, 1993 *dalam* Las *et al.*, 2000; Las *et al.*, 2007).

Pada agroekosistem lahan kering, ketersediaan air untuk memenuhi kebutuhan air bagi tanaman merupakan faktor penentu keberlanjutan produksi dan produktivitas tanaman. Optimasi pengelolaan sumber daya air dititikberatkan pada penyediaan air irigasi, baik berupa air permukaan maupun air tanah. Peningkatan alih fungsi lahan serta perubahan iklim berdampak langsung terhadap penurunan tingkat ketersediaan air yang berpengaruh terhadap keberlanjutan sektor pertanian. Oleh sebab itu, efisiensi

pemanfaatan dan pendistribusian air menjadi faktor penting dalam pengelolaan sumber daya air di KP Balitbangtan.

Optimasi pengelolaan sumber daya air kebun percobaan dilakukan melalui empat tahapan kegiatan yakni: (a) Identifikasi potensi ketersediaan sumber daya air; (b) Analisis dan desain; (c) Eksploitasi potensi sumber daya air; serta (d) Implementasi teknologi terkait dengan pengelolaan sumber daya air berdasarkan agro ekosistem (Anonymous, 2013).

Berdasarkan latar belakang di atas, penelitian ini bertujuan untuk: (1) Mengidentifikasi karakteristik biofisik kebun percobaan; dan (2) Menyusun desain pengelolaan air sesuai *layout* pengembangan kebun percobaan.

METODOLOGI

1. Lokasi dan waktu

Kajian dilaksanakan di KP Maros, Kab. Maros dan KP Bajeng, Kab, Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan (agro ekosistem lahan kering, komoditas jagung dan sorgum) berada di bawah Balai Penelitian Tanaman Serealia Maros, Puslitbangtan. Kegiatan dilaksanakan pada tahun 2013, meliputi: survei identifikasi ketersediaan air, survei topografi, desain pengelolaan air dan desain distribusi jaringan irigasi. Prioritas lokasi penyusunan desain pengelolaan sumber daya air KP adalah kebun yang sudah berproduksi. Kriteria penentuan KP yang dikaji adalah: 1) Komoditas yang dibudi dayakan mewakili komoditas tanaman pangan, tanaman rempah dan obat, tanaman buah-buahan, dan hortikultura, tanaman industri serta kelapa; 2) Merepresentasikan keragaman agroekosistem: lahan sawah, lahan kering dan rawa; 3) Mewakili kondisi iklim basah dan iklim kering; dan 4) Berbasis potensi ketersediaan air permukaan dan air tanah.

Letak geografis

Posisi geografis KP Maros, Kabupaten Maros, Provinsi Sulawesi Selatan adalah: (BT: 119.575249; LS: 4.981908) sedangkan posisi geografis KP Bajeng, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan adalah: (BT: 119.506721; LS:-5.310031).

KP Maros berada di sekeliling Balai Penelitian Tanaman Serealia, bagian depan, samping kiri dan kanan, merupakan lahan kering seluas 16 ha, khusus halaman depan merupakan *Show Window* atau *visitor plot*, sedangkan bagian belakang hamparan

sawah dengan irigasi teknis seluas 85 ha, dan lahan sisanya berupa bangunan kantor, mess, perumahan pegawai, embung, dll. KP Maros berjarak sekitar 30 km dari Kota Makasar ke arah Utara atau berjarak sekitar 16 km dari Bandar Udara Sultan Hasanuddin ke Utara, akses sangat mudah, karena berada di jalan poros Makasar-Sopeng, atau jalan menuju Taman Nasional Bantimurung Batusarang. Fisiografi kebun percobaan tergolong datar (kemiringan lahan < 3%). Pola tanam sesuai tupoksi: Jagung/sorgum di lahan kering dan padi sawah/bero di lahan sawah. Tanah tergolong Inceptisols, tingkat kesuburan rendah sampai sedang. Pertumbuhan tanaman umumnya tidak merata yang menandakan adanya variabilitas tingkat kesuburan tanah. Pengelolaan lahan usaha tani kurang memperhatikan sistem pengelolaan bahan organik yang berakibat pada semakin menurunnya kandungan bahan organik tanah.

Sedangkan KP Bajeng terletak di Desa Pabentengan, Kecamatan Bajeng, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan, berjarak \pm 20 km ke arah Selatan, Kota Makasar. Luas KP Bajeng \pm 50 ha, dilapangan peruntukan KP \pm 42 ha, sisanya untuk perkantoran dan perumahan pegawai.

Kondisi lahan

Lahan di KP Maros, mempunyai bentuk wilayah relatif datar dengan kemiringan lahan (lereng) 0-3%. Selain lereng, faktor lain yang berpengaruh terhadap erosi dan degradasi lahan adalah tanah dan curah hujan. Sebagian besar tanah di daerah ini tergolong ordo *Inceptisols* dengan tekstur lempung berdebu serta kandungan bahan organik tanah rendah, juga peka erosi.

Pola tanam sesuai tupoksi: Jagung/sorgum-jagung/sorgum-bero (tidak ditanami). Pertumbuhan tanaman umumnya tidak merata yang menandakan adanya variabilitas tingkat kesuburan tanah. Pengelolaan lahan usaha tani kurang memperhatikan sistem pengelolaan bahan organik yang berakibat pada semakin menurunnya kandungan bahan organik tanah.

Rata-rata curah hujan selama 10 tahun (2004-2013) adalah sebesar 3.456 mm/tahun (stasiun iklim Maros), tergolong zone agroklimat C2 (Oldeman *et al.*, 1979; Puslitanak, 2000). Bulan basah berturut-turut selama 6 bulan (November sampai April) sedangkan bulan kering berturut-turut selama 3 bulan (Juli sampai September). Berdasarkan zone agroklimat tersebut, maka optimasi lahan kering di KP Maros memerlukan penambahan air melalui irigasi. Bentuk wilayah datar sampai agak datar

dengan sistem pengelolaan lahan yang intensif merupakan faktor penyebab terjadinya degradasi lahan dan penurunan kadar bahan organik tanah.

Sedangkan Lahan di KP Bajeng, mempunyai bentuk wilayah relatif datar dengan kemiringan lahan (lereng) 0-3%. Selain lereng, faktor lain yang berpengaruh terhadap erosi dan degradasi lahan adalah tanah dan curah hujan. Sebagian besar tanah di daerah ini tergolong ordo *Inceptisols* dengan tekstur lempung berdebu, tingkat kesuburan rendah sampai sedang, kandungan bahan organik tanah rendah, peka erosi.

Pola tanam sesuai tupoksi: Jagung/sorgum-jagung/sorgum-padi sawah/bero. Pertumbuhan tanaman umumnya tidak merata yang menandakan adanya variabilitas tingkat kesuburan tanah. Pengelolaan lahan usaha tani kurang memperhatikan sistem pengelolaan bahan organik yang berakibat pada semakin menurunnya kandungan bahan organik tanah.

Rata-rata curah hujan (2005-2013) adalah sebesar 2.800 mm/tahun (stasiun BPP Limbung, Kec. Bajeng Timur, ± 9 km dari KP Bajeng), tergolong zone agroklimat C2 (Oldeman *et al.*, 1979; Puslitanak, 2000). Bulan basah berturut-turut selama 6 bulan (November sampai April) sedangkan bulan kering berturut-turut selama 4 bulan (Juli sampai Oktober). Berdasarkan zone agroklimat tersebut, maka optimasi lahan di KP Bajeng memerlukan penambahan air melalui irigasi. Bentuk wilayah datar sampai agak datar masih tetap merupakan faktor pemicu terjadinya erosi dan degradasi lahan.

Untuk keperluan analisis sifat fisika tanah, maka dilakukan pengambilan contoh tanah utuh menggunakan ring sample/tabung kuning. Sedangkan alat yang digunakan untuk analisis sifat fisika tanah di laboratorium adalah: *brabender* (untuk penetapan kadar air), panci *pressure membrane apparatus* untuk penetapan pF pada berbagai tekanan, alat penetapan permeabilitas (metode Klute, 1986).

2. Bahan dan alat

Bahan yang digunakan terdiri atas: Peta kebun percobaan; Data infrastruktur kebun percobaan; Peta dan data tanah (Puslitbang Geologi. 1973); Data Citra Resolusi Tinggi: IKONOS, GEOEYE, QUICKBIRD (LAPAN, 2007); Data iklim (Stasiun Klimatologi Kls I, Maros; Puslit Tanah dan Agroklimat, 2000), sedangkan alat yang digunakan terdiri atas: *Current Meter*, *GPS Navigasi*.

3. Metode pelaksanaan

a) Pengambilan contoh tanah

Untuk keperluan analisis sifat fisika tanah, dilakukan pengambilan contoh tanah utuh pada petakan tanaman jagung berumur 1 minggu setelah tanam, menggunakan tabung kuning (ring sampel). Sifat fisika tanah yang ditetapkan di laboratorium adalah: berat volume, berat jenis partikel, permeabilitas, distribusi ukuran pori tanah termasuk ruang pori total (RPT), pori drainase, pori air tersedia, kadar air tanah, kadar air tanah optimum untuk pengolahan tanah (Husein *et al.*, 2006; Agus *et al.*, 2006;). Pengambilan contoh tanah dilakukan pada satuan lahan yang mewakili kondisi kebun percobaan pada kedalaman 0-20 cm (untuk tanaman pangan), menggunakan tabung kuning berukuran tinggi 4 cm, diameter dalam 7,63 cm dan diameter luar 7,93 cm. Analisis BD, ruang pori total (RPT) dan ukuran pori (pF) serta permeabilitas tanah menggunakan metode yang dikembangkan oleh Ricards dan Fireman (1943) dan Ricards (1947). Hasil pengamatan karakteristik lahan serta hasil analisis tanah di laboratorium digunakan untuk menilai kondisi biofisik lahan dan arahan teknik konservasi air yang sesuai. Kondisi tanah di KP Bajeng cukup homogen.

b) Identifikasi potensi sumber daya air

Potensi sumber daya air terdiri atas air permukaan dan air tanah. Air permukaan direpresentasikan oleh curah hujan, air yang tersimpan dalam cekungan alami maupun artifisial (embung), serta aliran sungai. Potensi air permukaan dari curah hujan dianalisis berdasarkan data pengamatan stasiun hujan yang terdapat di lokasi penelitian, potensi air permukaan dari embung diidentifikasi berdasarkan volume cekungan.

Sumber air dari sungai diidentifikasi melalui pengukuran debit sesaat menggunakan *current meter* yang dilakukan pada musim kemarau. Ketersediaan air tanah dianalisis berdasarkan informasi sebaran cekungan air tanah (Puslitbang Geologi, 1973; Dit Tata Lingkungan Geologi dan Kawasan Pertambangan, 2004; Pusat Lingkungan Geologi, 2009).

c) Desain pengelolaan sumber daya air

Pengelolaan sumber daya air mencakup aspek eksplorasi, eksploitasi, dan distribusi. Eksplorasi sumber daya air merupakan kegiatan mencari dan mengidentifikasi potensi

sumber daya air. Eksploitasi bertujuan untuk memanfaatkan potensi sumber daya air yakni air permukaan dan air tanah. Sedangkan distribusi mencakup peningkatan nilai guna air secara efisien untuk budi daya pertanian secara optimal. Desain irigasi pada lahan kering ditetapkan berdasarkan informasi jenis dan potensi sumber daya air, bentang lahan, panjang jalur distribusi saluran dan pilihan komoditas. Desain pengelolaan sumber daya air difokuskan pada lahan kering.

d) Desain irigasi lahan kering

Penyusunan desain pengelolaan air lahan kering meliputi aspek eksploitasi dan distribusi. Eksploitasi adalah kegiatan untuk memanfaatkan air dari sumber air berupa mata air, aliran sungai dan air tanah. Untuk sumber air yang berasal dari aliran sungai, eksploitasi dilakukan dengan pembangunan instalasi pompa. Sumber air yang berasal dari mata air eksploitasi dilakukan dengan membangun bak penampungan dan sistem distribusi air tertutup. Sumber air yang berasal dari air tanah dalam, eksploitasi dilakukan dengan beberapa tahapan kegiatan yaitu: pengeboran sumur, uji pompa dan instalasi pompa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Biofisik

Karakteristik fisika tanah

Pengaruh faktor luar yang diakibatkan oleh campur tangan manusia adalah sistem pengelolaan lahan usaha tani tanpa disertai dengan sistem pengelolaan bahan organik dan pemupukan berimbang. Sistem pengelolaan lahan yang diterapkan merupakan salah satu model usaha tani yang kurang memperdulikan teknik konservasi tanah dan air, sehingga pengaruhnya terhadap penurunan produktivitas tanah sangat cepat. Dalam upaya mengatasi masalah tersebut, pengelolaan lahan yang bertujuan mempertahankan produktivitas tanah merupakan alternatif yang hendaknya mendapat perhatian khusus, antara lain rehabilitasi lahan, perbaikan sistem atau pola usaha tani, teknik konservasi tanah dan air, serta pengelolaan bahan organik (Sidik H. Tala'ohu *et al.*, 2007; 2008).

Berat volume (BD) tanah merupakan salah satu sifat fisika tanah yang sering ditetapkan, karena berhubungan erat dengan kemudahan penetrasi akar dalam tanah, infiltrasi, perkolasi, drainase, dan aerasi tanah. Hasil analisis di laboratorium fisika, Balai

Penelitian Tanah, Bogor (Tabel 1) menunjukkan bahwa, di KP Maros, BD tanah lapisan atas (0-20 cm) sebesar 1,14 g/cm³; ruang pori total (RPT) sebesar 51,7% Vol.; pori aerasi 9,3% Vol. (tergolong sedang); pori air tersedia 12,3% Vol. (tergolong sedang); permeabilitas tanah 7,9 cm/jam (agak lambat). Tekstur tanah di KP Maros adalah liat berlempung sedangkan di KP Bajeng adalah lempung berpasir. Adapun di KP Bajeng Berat volume (BD) tanah lapisan atas (0-20 cm) adalah 1,28 g/cm³; ruang pori total (RPT) sebesar 47,8% Vol.; pori aerasi 16,1% Vol. (tergolong tinggi); pori air tersedia 11,1% Vol. (tergolong sedang); permeabilitas tanah 5,25 cm/jam (agak lambat).

Kondisi sifat fisika tanah di KP Maros dan KP Bajeng, agak padat yang ditandai dengan BD tanah 1,14-1,28 g/cm³. Kondisi tanah ini perlu diperbaiki melalui pengolahan tanah seperlunya dan pemberian bahan organik guna menciptakan media tumbuh yang baik untuk pertumbuhan dan perkembangan akar tanaman. Walaupun agak padat, kondisi tanah yang demikian cukup baik menunjang pertumbuhan tanaman jagung akan tetapi masih memerlukan upaya pengolahan tanah konservasi (misalnya olah tanah minimum/*minimum tillage*), pengelolaan bahan organik yang disertai dengan sistem pemupukan berimbang spesifik lokasi, sesuai kebutuhan tanaman.

Tabel 1. Kondisi sifat fisika tanah di KP Maros, Kab. Maros dan KP Bajeng Kab. Gowa, Sulawesi Selatan

Lokasi	Klasifikasi Tanah	Kemiringan lahan	Kedalaman (Cm)	Kadar Air Lapang	BD (g/cm ³)	RP T	Pori aerasi (% Vol.)	Air tersedia	Permeabilitas (Cm/jam)
		(%)		(% Vol.)				a	
KP Maros, Kab Maros	Inceptisols	<3	0-20	27.7	1.14	51.7	9.3	12.3	7.9
KP Bajeng- Kab Gowa	Inceptisols	<3	0-20	21.6	1.28	47.8	16.1	11.1	5.25

Keterangan: Diameter pori pada (pF): (1) 296μ, (2) 28.6μ, 2,54) 8.6μ, dan (4,2) 0,2μ

Untuk keberlanjutan pengelolaan lahan, maka sistem usaha tani konservasi, pengembalian/pengelolaan bahan organik dan sistem pemupukan berimbang merupakan satu kesatuan yang tidak terpisahkan (Sidik H. Tala'ohu *et al.*, 2007). Menurut Brady (1974), limbah nabati yang kembali ke tanah berupa massa terbusukkan akan berubah menjadi humus yang berplastisitas dan berkorelasi rendah. Gejala ini dipergunakan untuk mengusahakan tanah-tanah pertanian terutama struktur tanah menjadi baik mudah dibajak atau diolah. Upaya perbaikan tanah yang sifatnya kurang menguntungkan dapat dilakukan dengan pemberian bahan organik.

Adiningsih *et al.* (1995) mengatakan bahwa apabila kandungan bahan organik tanah rendah, akan mengakibatkan kurangnya daya sangga dan keefisienan pupuk, serta berkurangnya sebagian hara dari lingkungan perakaran. Bahan organik sebagai komponen massa padat tanah mempengaruhi sifat fisika maupun kimia tanah, meskipun kadarnya di dalam tanah umumnya kecil. Sifat fisika tanah yang dipengaruhi oleh bahan organik antara lain kemantapan agregat dan kemampuan menahan air. Peningkatan kemantapan agregat tanah karena pemberian bahan organik disebabkan oleh adanya gum polisakarida yang dihasilkan oleh bakteri tanah, dan adanya pertumbuhan nifa, fungi, dan *actynomicetes* di sekitar partikel tanah (Rawls, 1982).

Faktor cuaca yang panas dan kandungan bahan organik tanah yang rendah menyebabkan kadar lengas tanah cepat menurun setelah hujan. Peningkatan kadar bahan organik tanah merupakan salah satu usaha yang perlu dilakukan untuk meningkatkan kemampuan tanah memegang air (*water holding capacity*), sehingga kesempatan tanaman memanfaatkan air menjadi lebih besar. Secara umum, analisis retensi air sangat bermanfaat dalam pengaturan dan efisiensi penggunaan air khususnya yang berkaitan dengan kebutuhan air untuk tanaman dan pengolahan tanah, dengan berpatokan pada kondisi kapasitas lapang, titik layu permanen dan air tersedia (De Boodt, 1972; Klute, 1986). Air yang berada di antara titik layu permanen (pF 4,2) dan kapasitas lapang (pF 2,54) disebut air tersedia.

Kekeringan di musim kemarau, menyebabkan tingkat kehilangan air melalui evaporasi juga tinggi. Oleh sebab itu diperlukan upaya guna mengurangi laju evaporasi yakni pemberian mulsa berbahan murah dan bersifat *insitu*, misalnya dengan menggunakan sisa tanaman yang disebar dipermukaan tanah atau penanaman hijauan *legume cover crop* (LCC) untuk menutupi permukaan tanah.

Dari hasil analisis sifat fisika tanah terlihat bahwa, kadar air tanah pada kondisi titik layu permanen (kadar air pada pF 4,2) di kedalaman 0-20 cm pada *Inceptisols* di KP Maros adalah sebesar 25,9 % Vol. Sedangkan di KP Bajeng adalah 13,7 % Vol. (Tabel 2). Artinya pada kadar air tanah lebih kecil dari kadar air pada titik layu permanen, tanaman sudah tidak mampu lagi menyerap air. Kondisi pori air tersedia pada kedalaman 0-20 cm pada *Inceptisols* tergolong sedang di KP Maros dan rendah di KP Bajeng.

Cekaman kekeringan pada musim kemarau, menyebabkan tingkat kehilangan air melalui evaporasi juga tinggi. Oleh sebab itu usaha-usaha untuk mengurangi laju

evaporasi perlu dilakukan yakni dengan pemberian mulsa berbahan murah dan bersifat *insitu*, misalnya dengan menggunakan sisa tanaman atau hijauan *legume cover crop* (LCC) untuk menutupi permukaan tanah.

Faktor ketersediaan air perlu mendapat perhatian khusus dalam upaya optimasi produktivitas lahan kering di kedua KP, disertai dengan teknik pengelolaan dan pemanfaatan air secara efektif dan efisien sesuai kondisi biofisik lahan dan kebutuhan tanaman dibarengi dengan sistem pengelolaan bahan organik agar produktivitas lahan kering di kedua KP dapat ditingkatkan.

Tabel 2. Kondisi kadar air tanah di KP Maros Kab. Maros dan KP Bajeng, Kab. Gowa, Sulawesi Selatan

Lokasi	Klasifikasi Tanah	Kemiringan lahan (%)	Kedalaman (cm)	Kadar air pada kapasitas lapang (pF 2,54) (% Vol.)	Kadar air pada titik layu permanen (pF 4,2)	Kelas pori air tersedia
KP Maros, Kab. Maros	Inceptisols	<3	0-20	38,3	25,9	Sedang
KP Bajeng, Kab. Gowa	Inceptisols	<3	0-20	24,8	13,7	Rendah

Keterangan: Diameter pori pada (pF): (1) 296 μ , (2) 28.6 μ , 2,54) 8.6 μ , dan (4,2) 0,2 μ

Analisis sumber daya air

Suatu inovasi teknologi tidak dapat diterapkan pada seluruh kondisi melainkan bersifat spesifik lokasi. Oleh sebab itu diperlukan informasi tentang kondisi biofisik lokasi di mana teknologi tersebut akan diimplementasikan. Analisis agroekosistem dilakukan melalui survei dan kunjungan langsung ke kebun percobaan serta menggunakan metoda rapid rural appraisal (RRA) melalui wawancara tidak terstruktur kepada pegawai di KP guna memahami kondisi awal atau agroekosistem kebun percobaan di mana teknologi tersebut akan diterapkan.

Untuk implementasi inovasi teknik irigasi suplementer, maka hal-hal yang perlu diketahui dari hasil analisis tersebut antara lain: Sumber daya alam yang menyangkut tanah (topografi, penggunaan lahan, jenis tanah, tekstur, kadar air tanah, ruang pori total, kadar air tersedia, dll), air (iklim: zona agroklimat, neraca air; sumber air irigasi: curah hujan, air permukaan, air tanah) dan sumber daya manusia (sosial-ekonomi petani, pengetahuan, pengalaman petani, kebiasaan petani, jenis tanaman yang

dusahakan, pola tanam, persepsi, dan preferensi petani) serta kendala penerapan teknologi.

Sumber air irigasi di KP Maros berasal dari irigasi PU, sumur bor, dan atau kolam/embung. Sistem irigasi yang digunakan adalah irigasi submerse (penggenangan) menggunakan pompa Groundfos 2" dan pompa bensin 5.5 HP 2". Sistem irigasi penggenangan ini termasuk boros air. KP Maros memiliki 6 buah pompa groundfos 2" yang terpasang di 6 titik sumur bor, dan beberapa buah pompa bensin 5.5 HP 2" yang dioperasikan pada 7 sumur bor tanpa pompa permanen. Kedalaman sumur bor bervariasi (9-12 m). Hasil pengamatan debit di sumur bor 2 menggunakan ember 15 liter selama 5 kali pengukuran sebagai berikut: 3.78 detik; 3.47 detik; 3.21 detik; 3.41 detik; 3.51 detik atau rerata 3.44 detik/15 liter atau rata-rata 4.36 l/detik.

Kondisi fisiografi lahan tergolong datar (kemiringan < 3%), jenis tanah di lahan kering termasuk Inceptisols: pada saat survei sedang ditanami: jagung, sorgum, sedangkan lahan sawah sebagian ditanami padi sawah dan sebagian bero. Pola tanam lahan sawah: padi-padi sedangkan pola tanam lahan kering: jagung/sorgum-jagung/sorgum-bero. Kondisi jaringan irigasi dari pompa atau sumur pompa: pada blok lahan kering telah tersedia jaringan pipa 2" sampai ke pinggiran petakan; selanjutnya air disalurkan ke dalam petakan menggunakan slang 2" dan atau langsung dari mesin pompa dengan sistem curah.

Sumber daya air permukaan yang lainnya adalah berupa kolam/embung yang berada di bagian Utara KP Maros (berukuran: panjang 77 m, lebar 65 m dan dalam 2,5 m). Air embung di sebelah Utara berasal dari air hujan/aliran permukaan dan atau mata air. Pemanfaatan air dari embung/kolam di sebelah Utara menggunakan pompa Groundfos 2". Untuk irigasi pertanaman di lahan kering terdapat opsi alternatif berupa: pembuatan jaringan irigasi berbagai sistem/permanen (yakni: *sistem furrow*, *streamline*, *big gun sringkler* dan sistem penggenangan) pada lokasi visitor plot sebagai objek wisata agro. Sedangkan di bagian Selatan juga terdapat 1 buah embung/kolam. Untuk irigasi lahan sawah dan pengisian kolam/embung Selatan (dengan ukuran: panjang 100 m, lebar 30 m dan dalam 2,5 m) menggunakan air irigasi dari PU dan atau mata air. Pemanfaatan air dari kolam/embung Selatan yakni untuk irigasi areal jagung/sorgum seluas 0.5-1 ha menggunakan pompa bensin 5.5 HP dengan sistem penggenangan.

Sedangkan hasil survei di KP Bajeng menunjukkan bahwa potensi sumber daya air sebagai berikut: ada enam sumber air permukaan berupa sumur gali (dengan kedalaman 5-8 m), serta satu sumur tua di luar pagar KP yang sudah tidak digunakan dan tertimbun sedimen (kedalaman sumur 1-2 m). Juga terdapat 2 kolam (bekas galian C) 1 di sebelah tenggara (berukuran: panjang 100 m; lebar 50 m dan kedalaman 2-3 m) dan satunya berada disebelah Barat Laut (berukuran: panjang 100 m; lebar 50 m dan kedalaman 5-7 m). Walaupun berada di luar wilayah KP Bajeng, namun dari informasi yang diperoleh saat survei, air dari embung/kolam tersebut dapat digunakan sebagai sumber air untuk irigasi pertanian di KP (hasil wawancara dengan pegawai KP).

Sumber air irigasi di KP Bajeng berasal dari irigasi PU (dengan sistem irigasi ini lahan di KP Bajeng tidak memperoleh giliran air selama 3-4 bulan). Potensi sumber daya air yang lain adalah berupa 6 sumur gali dan 2 kolam/embung. Sistem irigasi yang digunakan adalah irigasi submersi (penggenangan) menggunakan pompa (Hedils pump 3"). Sistem irigasi submersi ini tergolong boros air. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa, 5-7 jam setelah lahan/tanaman jagung (umur 1,5-2 bulan) di irigasi dengan sistem submersi, air masih menggenang 2-4 cm. Dari hasil wawancara dengan peneliti menyimpulkan bahwa peneliti lebih merasa tenang dan puas menggunakan sistem irigasi submersi dengan alasan, sekali dilakukan penggenangan, dapat sampai 18-20 hari baru tanaman di irigasi kembali, walaupun disadari bahwa sistem tersebut memang boros air.

KP Bajeng memiliki 2 buah pompa (Hedils pump 3") yang dioperasikan pada sumur gali tanpa jaringan irigasi permanen. Hasil pengamatan debit di 3 buah sumur gali menggunakan ember 15 liter selama 5 kali pengukuran adalah: 1,74" detik; 1,92 detik; 1,87 detik; 1,80 detik; 1,92 detik atau rerata 1,85 detik/15 liter atau sebesar 8,11 l/detik. Pengukuran debit ini belum memperhitungkan kecepatan pengisian kembali air sumur, namun berdasarkan informasi dari petugas lapang, bahwa pengoperasian pompa sudah sering dilakukan untuk mengairi tanaman jagung, sorgum.

Selain itu, sumber daya air permukaan yang lain adalah berupa 1 kolam/embung bekas galian C di sebelah Tenggara. Kedua kolam/embung tersebut merupakan sumber air permukaan yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber air irigasi di KP Bajeng.

Berdasarkan informasi dari KP Bajeng, pengairan dari PU sangat tergantung musim dan terdapat 4 bulan yang tidak mendapat jatah air dari jaringan irigasi Bendungn Malino, yakni pada bulan Agustus sampai Oktober dan Mei. Pada bulan-bulan tersebut, pertanaman di kebun percobaan Bajeng mengalami kekurangan air.

B. Desain pengelolaan air

Air merupakan salah satu unsur penting dan berkaitan dengan proses produksi pangan. Sumber daya air merupakan salah satu faktor kunci untuk keberlanjutan pertanian khususnya pertanian beririgasi. Pertanian berkelanjutan secara sederhana diartikan sebagai upaya memelihara, memperpanjang, meningkatkan dan meneruskan kemampuan produktif dari sumber daya pertanian (tanah, air, iklim) guna memenuhi kebutuhan konsumsi pangan. Untuk mewujudkan pertanian berkelanjutan, maka sumber daya tanah, iklim dan air perlu dimanfaatkan secara berdaya guna dan berhasil guna. Kebutuhan sumber daya tersebut cenderung meningkat sejalan dengan terus bertambahnya jumlah penduduk dan perubahan gaya hidup, sehingga kompetisi dalam pemanfaatannya juga semakin tajam baik antara sektor pertanian dengan sektor non-pertanian maupun antar pengguna dalam sektor pertanian.

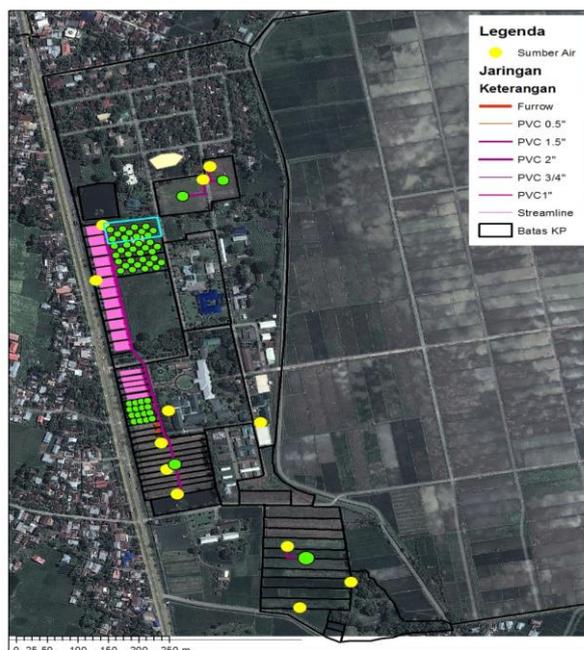
Secara umum lahan kering di KP Maros dan KP Bajeng terdiri atas beberapa petakan lahan yang di batasi oleh pematang dan jalan serta saluran irigasi tersier. Untuk pengairan, telah tersedia jaringan irigasi dari irigasi PU dengan sumber air dari Bendungan Malino. Saluran sekunder dan saluran primer berada di wilayah KP, yang dilanjutkan dengan saluran tersier ke setiap petakan. Beberapa saluran irigasi sudah berupa saluran terbuka permanen namun sebagian besar masih berupa saluran tanah terbuka sampai ke pinggiran petakan. Selanjutnya dengan cara gravitasi, air dialirkan ke lahan. Sistem irigasi dengan cara digelontor ini masih tergolong boros air.

Penggunaan lahan di KP Maros maupun KP Bajeng, sebagian besar untuk kegiatan penelitian komoditas jagung dan sorghum dan sebagian kecil lahan ditanami sayuran. Distribusi air dari sumur gali/pantek menggunakan pompa selanjutnya air dialirkan ke petakan dengan sistem curah yang tergolong boros air.

Sistem irigasi dengan *big gun springkler* merupakan alternatif yang direkomendasikan. Untuk mendukung operasional *big gun springkler*, diperlukan sumber air dengan debit yang lebih besar dibandingkan dengan dari sumur gali yang sudah ada terutama untuk melayani lahan KP yang di sebelah timur laut dan barat laut.

Alternatif yang dapat ditempuh adalah membuat kolam/embung di bagian tengah (sebelah timur laut stasiun iklim KP Bajeng) dengan ukuran: panjang 100 m; lebar 50 meter dan dalam 3 m (kapasitas 15.000 m³). Pengisian air embung/kolam berasal dari saluran irigasi Bendungan Malino dan atau air hujan. Selain sebagai sumber air untuk operasional *big gun sringkler*, kolam dapat juga dimanfaatkan untuk pemeliharaan ikan yang sekaligus sebagai salah satu objek Widyawisataagro selain *big gun sringkler*.

Untuk mendukung teknik irigasi dengan sistem *furrow*, *streamline*, *big gun sringkler* dan sistem penggenangan, diperlukan penataan jaringan irigasi (menggunakan pipa wavin PPC AW 2") dari sumber air dan dirancang sampai sampai blok pertanaman. Berdasarkan kondisi biofisik lahan dan sumber daya air yang ada, maka desain jaringan irigasi di KP Maros dan KP Bajeng seperti disajikan pada Gambar 2a dan 2b.



Gambar 2. Desain distribusi air di KP Maros

Pengelolaan sumber daya air adalah upaya merencanakan, melaksanakan, memantau, dan mengevaluasi pelaksanaan konservasi sumber daya air, pendayagunaan sumber daya air, dan pengendalian daya rusak air. Penyediaan air untuk irigasi pertanian sangat penting dalam meningkatkan produktivitas lahan di kebun percobaan. Penyediaan air sangat terkait erat dengan berapa besarnya potensi/ketersediaan sumber daya air. Ketersediaan air dapat dibedakan antara

ketersediaan air permukaan dan ketersediaan air tanah dalam. Apabila dari analisis neraca air, diketahui bahwa debit andalan lebih kecil dari kebutuhan, maka perlu adanya tampungan tambahan misalnya dengan membangun bendungan, embung dan atau sumur bor.



Gambar 2b. Desain distribusi air di KP Bajeng

Pemilihan teknik irigasi

Pemilihan teknik irigasi suplementer dilakukan berdasarkan kecocokan antara kondisi agroekosistem (jenis tanaman dan jarak tanam) dengan kesesuaian lokasi penerapan jenis irigasi suplementer tertentu. Sebagai contoh kriteria kesesuaian lokasi penerapan teknik irigasi seperti disajikan pada Tabel 3. Jenis tanaman yang diusahakan sebaiknya bernilai ekonomi tinggi, karena umumnya teknik irigasi suplementer memerlukan biaya yang relatif besar. Faktor lain yang menyebabkan suatu teknologi dipilih dan atau diadopsi oleh petani adalah kesederhanaan teknologi baik pada saat penerapan maupun pemeliharaan.

Pada irigasi curah, air irigasi diberikan dengan cara menyemprotkan air ke udara dan jatuh di sekitar tanaman seperti hujan. Penyemprotan dilakukan dengan mengalirkan air bertekanan melalui lubang kecil (*nozzle*). Tekanan didapatkan dengan pemompaan. Untuk mendapatkan penyebaran air yang seragam diperlukan pemilihan ukuran *nozzle*, tekanan operasional, jarak antar sprinkler yang sesuai dan laju infiltrasi tanah.

Kendala pengelolaan lahan kering, antara lain: keterbatasan sumber daya air, topografi tanah yang tidak datar, jenis tanah berpasir, lapisan olah tanah yang dangkal dan relatif kurang subur, infrastruktur ekonomi yang terbatas, kondisi kelembagaan yang lemah disamping partisipasi pengusaha swasta yang masih rendah dikarenakan belum

memadainya penerapan teknologi. Sehingga perlu mendapatkan perhatian khusus, dengan menciptakan berbagai inovasi teknologi tepat guna, salah satunya adalah teknik irigasi menggunakan *big gun sprinkler type BIR V.1*.

Tabel 3. Kriteria kesesuaian lokasi penerapan irigasi *big gun sprinkler*

Kategori	Kriteria penerapan	Keterangan
Iklm	Zona agroklimat E, D, C3	Lahan kering
Lahan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Solum tanah dangkal, tekstur kasar, peka erosi, laju infiltrasi cepat tinggi, peka erosi 2. Jenis tanah: Regosol, Rendzina, litosal, Grumusol dan Andosol 3. Laju infiltrasi > 13 mm/jam 4. Luas, topografi datar dan bentuk petakan lahan yang teratur 	Tekstur tanah berpasir, pasir berlempung
Sumber air	<ol style="list-style-type: none"> 1. Air tanah, mata air, air permukaan (danau, waduk, embung); 2. Tersedia sumber air yang cukup sepanjang tahun; 3. Kualitas air yang bebas kotoran dan tidak mengandung Fe 	Debit air cukup, tekanan pompa > 3 bar
Tanaman	Bernilai ekonomi tinggi	Jagung, sorgum, hortikultura sayuran
Sosial Ekonomi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Motivasi petani tinggi 2. Kemampuan teknis dan finansial petani memadai 3. Kelembagaan usaha tani yang siap 	Modal cukup, transportasi dan jalur pemasaran hasil cukup lancar & mendukung

Sumber: diolah dari Kalsim (2003) dalam Anonimous (2013)

Irigasi curah/*big gun sprinkler type BIR V.1* merupakan salah satu alternatif pilihan dalam upaya mengatasi kendala lapangan di lahan kering dengan efisiensi pemakaian air > 85 %; dengan demikian menjadikan pengelolaan lahan kering sebagai sumber daya alternatif yang strategis dalam rangka memenuhi kebutuhan produk pertanian, memperbaiki kesejahteraan petani.

Dengan demikian teknik irigasi submersi menggunakan *big gun sprinkler* merupakan salah satu alternatif guna optimasi pemanfaatan sumber daya air agar produktivitas lahan di KP Bajeng dapat ditingkatkan.

Teknik irigasi pertanaman menggunakan big gun sprinkler

Big gun sprinkler adalah alat penyemprot air yang dapat menyemprotkan air sampai sejauh radius ± 100 meter. Secara umum alat ini mirip dengan *water canon* yang dipakai polisi untuk membubarkan demonstran atau yang digunakan oleh pasukan pemadam kebakaran. Perbedaannya adalah bahwa pada *big gun sprinkler* untuk irigasi ada

tambahan peralatan yang berfungsi untuk mengatur agar supaya air yang jatuh ke tanah di dalam areal radius pancarannya, seragam sehingga kondisinya mirip hujan, sedangkan pada *water canon* yang diutamakan adalah jangkauannya.

Pada waktu beroperasi, posisi *big gun sprinkler* dapat dipindah-pindahkan sedemikian rupa sehingga seluruh areal tanaman yang diirigasi dapat menerima air. Untuk satu mesin pompa, memerlukan lebih dari satu *big gun sprinkler* sesuai dengan kapasitas pompa dan kapasitas *big gun sprinkler*.

Keuntungan penggunaan big gun sprinkler: a) Dapat digunakan pada lahan dengan kondisi topografi datar sampai bergelombang bahkan sampai berbukit; b) Pada tekstur tanah liat sampai berpasir; c) Kehilangan air akibat penguapan dan kebocoran kecil; d) Apabila tidak ada masalah, biaya operasional untuk jaringan pipa kecil; e) Aman dari gangguan pengebolan secara liar apabila jaringan pipa ditanam dalam tanah; f) Penyiraman dapat dilakukan secara bergiliran; g) Dapat mengatur suhu lingkungan di sekitarnya; h) Air dapat dicampur dengan pupuk; i) Kadang tidak memerlukan saluran pembuangan (air dapat meresap ke dalam tanah).

Sedangkan kendala penggunaan big gun sprinkler adalah: a) Pemasangan awal memerlukan biaya relatif besar karena peralatan cukup mahal; b) Biaya eksploitasi pompa air cukup tinggi; c) Memerlukan teknisi khusus dan tambahan biaya perbaikan apabila terjadi kerusakan mekanik; d) Efektivitas pemberian air dipengaruhi oleh angin; e) Saat pengerjaan, tanah harus dalam kondisi normal untuk mempermudah pelaksanaan.

Teknik irigasi tetes

Irigasi Tetes (*Drip Irrigation*) adalah cara membasahi tanaman dengan jalan memberikan air langsung pada permukaan tanah di sekitar daerah perakaran tanaman sesuai dengan kebutuhannya. Teknologi ini sangat cocok diterapkan pada lahan kering beriklim kering yang mempunyai keterbatasan air. Prinsip pendistribusian air pada sistem irigasi tetes adalah dengan menyalurkan air dari tangki penampungan yang ditempatkan pada posisi lebih tinggi dari lahan usaha tani, melalui selang irigasi.

Teknik irigasi furrow

Irigasi parit (*Furrow irrigation*) merupakan cara pemberian air irigasi yang dialirkan langsung ke lahan dimana air bergerak melalui saluran kemalir (alur) yang ada diantara lajur tanaman.

Pada sistem irigasi dengan memanfaatkan air tanah, apabila pembangunan sumur selesai, maka setiap kali petani membutuhkan air untuk mengairi pertanaman, maka diperlukan pengoperasian mesin pompa. Penentuan volume air irigasi didasarkan pada: jenis tanaman, jenis dan sifat tanah (tekstur, pori air tersedia, permeabilitas, kondisi iklim). Irigasi curah merupakan salah satu alternatif pilihan dalam upaya mengatasi kendala lapangan di lahan kering dengan efisiensi pemakaian air, dengan demikian menjadikan pengelolaan lahan kering sebagai sumber daya alternatif yang strategis dalam rangka memenuhi kebutuhan produk pertanian. Dengan demikian teknik irigasi submersi menggunakan *sistem furrow*, *streamline*, *biggun sringkler* dan sistem penggenangan merupakan alternatif guna optimasi pemanfaatan sumber daya air dan peningkatan produktivitas lahan kering di KP Maros dan KP Bajeng, kehilangan air sebelum mencapai lahan usaha tani dapat lebih dikurangi. Kehilangan air juga dapat dikurangi melalui sistem pengelolaan bahan organik yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari pengelolaan lahan usaha tani misalnya melalui pemberian mulsa sisa tanaman yang disebar di permukaan tanah. Hasil penelitian di Sinar Seputih, Kabupaten Lampung Tengah menunjukkan bahwa dengan pemberian mulsa sisa tanaman jagung 5 t/ha, ternyata saat pemberian air berikutnya dapat diperpanjang antara 2-3 hari dibandingkan dengan tanpa pemberian mulsa. Untuk jangka panjang pengaruh ini akan lebih nampak karena setelah terdekomposisi, mulsa turut menyuplai sejumlah bahan organik dan unsur hara ke dalam tanah sehingga kemampuannya untuk menahan air juga dapat meningkat (Sidik H. Tala'ohu 2012).

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Tahapan kegiatan dalam rangka optimalisasi pengelolaan sumber daya air KP meliputi: a). identifikasi potensi ketersediaan sumber daya air; b). analisis dan desain, c). eksploitasi potensi sumber daya air, dan d). implementasi teknologi berdasarkan agro ekosistem lahan kering, komoditas tanaman pangan (jagung, sorgum).
2. Potensi ketersediaan sumber daya air di KP Maros dan Bajeng terdiri atas: air permukaan berupa: air hujan, mata air, simpanan cekungan tanah/embung; dan air tanah berupa: sumur gali dangkal kedalaman 5-12 m.
3. Teknik irigasi submersi menggunakan *sistem furrow*, *streamline*, *biggun sringkler*, dan sistem penggenangan merupakan salah satu alternatif guna optimasi

pemanfaatan sumber daya air agar produktivitas lahan di KP Maros dan KP Bajeng dapat ditingkatkan.

4. Faktor ketersediaan air perlu mendapat perhatian khusus, disertai dengan teknik pengelolaan dan pemanfaatan air secara efektif dan efisien sesuai kondisi biofisik lahan dan kebutuhan tanaman dibarengi dengan sistem pengelolaan bahan organik agar produktivitas kebun percobaan dapat berkesinambungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningsih J. S., D. Setyorini dan T. Prihatini. 1995. Pengelolaan hara terpadu untuk mencapai produksi pangan yang mantap dan akrab lingkungan. Hlm. 55-69 *dalam* Prosiding Pertemuan Teknis Penelitian Tanah dan Agroklimat, Makalah Kebijakan, Bogor 10 -12 Januari 1995. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Badan Litbang Pertanian.
- Agus, F., R. D. Yustika dan U. Haryati. 2006. Penetapan Berat Volume Tanah. Hlm 25-41 dalam Sifat Fisik Tanah dan Metode Analisisnya. Balai Besar Litbang Sumber Daya Lahan Pertanian, Badan Litbang Pertanian.
- Anonimous, 2013. Laporan Akhir Desain Pengelolaan Air Kebun Percobaan Lingkup Balitbangtan. Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi. Balai Besar Litbang Sumber Daya Lahan Pertanian. Badan Litbang Pertanian. (Tidak Dipublikasikan).
- Balitklimat. 2002. Software Crop Water Balance. Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi. Bogor.
- Brady, N.C. 1974. The Nature and Properties of Soil 8th ed. Mac Millan Publishing Co. Technical Notes 5 : 9-29.
- De Boodt, M. 1972. Soil Physics. International Training Center for Post Graduate in Soil Sciences. State University of Ghent, Belgia.
- Direktorat Tata Lingkungan Geologi dan Kawasan Pertambangan. 2004. Air tanah. info@dgtl.dpe.go.id
- Husein S., A. Rachman, dan Sutono. 2006. Petunjuk pengambilan contoh tanah dalam Sifat Fisik Tanah dan Metode Analisisnya. Balai Besar litbang Sumber daya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian.
- Kirmanto, D. 2012. Pulau Jawa Kritis Air. Orasi Ilmiah Menteri PU dalam Peringatan 92 Tahun Pendidikan Tinggi Teknik di Aula Barat Institut Teknologi Bandung, 3 Juli 2012.
- Klute, A. 1986. Water Retention: Laboratory Methods. Methods of Soil Analysis. Part 1. Medison, Wisconsin, USA.
- LAPAN. 2007. Data citra resolusi tinggi (Ekonos, Geoeye, Quickbird).
- Las I, Purba S, Sugiharto B, Hamdani A. 2000. Proyeksi Kebutuhan dan Pasokan Pangan tahun 2000-2020. Laporan Penelitian. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Bogor. Tidak dipublikasikan.

- Las, I., E. Surmaini, dan E. Runtuwuwu. 2007. Strategi Sektor Pertanian Menghadapi Perubahan Iklim: Antisipasi, Mitigasi, dan Adaptasi. Dipresentasikan pada Kongres Ilmu Pengetahuan Nasional (KIPNAS) IX: "Harmonisasi IPTEK, Alam, dan Budaya Menuju Masyarakat Sejahtera", Jakarta, 20-22 November 2007.
- Oldeman L. R., I. Las and S.W. Darwis. 1979. Agroclimatic Map for Agriculture, Bogor. An Agroclimatic Map of Sumatera. Centr. Res. Inst. Agric. Bogor, No. 52 (1979) 35p.
- Pasandaran, E. 1996. Nilai Ekonomi Air Dalam Kerangka Menghadapi Era Baru Pengelolaan Sumberdaya Air. Prosiding Seminar Nasional Gerakan Hemat Air. Jakarta 11 Juli 1996.
- Puslitbang Geologi. 1973. Peta Geologi Bersistem Indonesia (lembar gab. 2612, 2613, 2712, dan 2713) skala 1:250.000 (Puslitbang Geologi, Bandung, 1993).
- Pusat Lingkungan Geologi. 2009. Peta Cekungan Air Tanah Indonesia. Badan Geologi. Departemen Energi dan Sumber daya Mineral.
- Puslit Tanah dan Agroklimat. 2000. Peta zona agroklimat skala 1:250.000. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor. Badan Litbang Pertanian.
- Rawls. 1982. Estimating soil bulk density from particle size analysis and organic matter content. J. Soil Sci. 135:123-125
- Ricards, L. A., and L. A. Fireman. 1943. Pressure plate apparatus for measuring moisture sorption and transmission by soils. Soil Sci. 56:395-404.
- Ricards, L. A. 1947. Pressure membrane apparatus, construction and use, Agric. Eng. 28:451-454.
- Sidik H. Tala'ohu, I. Juarsah dan D. Erfandi. 2007. Alternatif Peningkatan Produktivitas Lahan Melalui Pengelolaan Bahan Organik Menuju Pertanian Berkelanjutan. Prosiding Ekspose dan Seminar Nasional Hasil Penelitian dan Pengkajian Teknologi Pertanian Mendukung PENAS XII di Palembang tanggal 9-10 Juli 2007. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Sumatera Selatan. Badan Litbang Pertanian. Departemen Pertanian.
- Sidik H. Tala'ohu, I. Juarsah dan D. Erfandi. 2008. Alternatif Peningkatan Produktivitas Lahan untuk Tanaman Pangan Bagi Petani Peladang Berpindah. Hlm. 571-581 *dalam* Prosiding Simposium V Tanaman Pangan, Inovasi Teknologi Tanaman Pangan. Buku 2: Penelitian dan Pengembangan Padi. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Badan Litbang Pertanian, Departemen Pertanian.
- Sidik Haddy Tala'ohu, 2012. Inovasi Teknik Konservasi Air di Lahan Kering untuk Meningkatkan Produksi Tanaman. Hlm. 59-79 *dalam* Prosiding Seminar Nasional Kemandirian Pangan, Meningkatkan Daya Saing dan Nilai Tambah Produk Pertanian Berbasis Sumber Daya Lokal. Buku-4A).