

Manfaat Inovasi Teknologi Sumberdaya Lahan Pertanian dalam Mendukung Pembangunan Pertanian

Benefits of Agricultural Land Resource Technologies Innovation in Supporting Agricultural Development

Mamat H.S.*, Sukarman

Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian

*E-mail: mamath.suwanda@gmail.com

Diterima 26 Juni 2020, Direview 4 Juli 2020, Disetujui dimuat 12 Desember 2020, Direview oleh Wawan dan Markus Anda

Abstrak. Permasalahan pupuk, lahan terdegradasi, dan pencemaran, pengelolaan sumberdaya lahan rawa, dan pengelolaan sumberdaya air yang terbatas di lahan pertanian, merupakan isu atau permasalahan mendesak yang harus dicari pemecahannya. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian (BBSDLP) telah menghasilkan beberapa teknologi yang siap diaplikasikan. Dalam dua tahun terakhir, output hasil penelitian BBSDLP tersebut dalam bentuk produk teknologi dan rekomendasi anjuran teknologi sumberdaya lahan telah diaplikasikan dan dimanfaatkan dalam mendukung program prioritas sektor pertanian. Program prioritas dimaksud, adalah: (1) program selamatkan rawa dan sejahterakan petani disingkat SERASI, (2) program penurunan pencemaran lingkungan, (3) program peningkatan produktivitas pertanian dan (4) program antisipasi perubahan iklim. Terdapat opini yang paradoks, institusi lembaga riset menganggap bahwa banyak teknologi hasil penelitian yang siap diaplikasikan, tetapi menurut sebagian petani sangat terbatas teknologi hasil penelitian yang siap dimanfaatkan petani. Untuk itu perlu analisis secara seksama sehingga memperoleh gambaran yang akurat dan dimana letak permasalahannya serta bagaimana cara mengatasinya agar teknologi hasil penelitian tersebut efektif. Hasil evaluasi awal beberapa teknologi yang dimanfaatkan dalam program prioritas tersebut telah menunjukkan nilai tambah atau nilai indeks efisiensi teknis dalam bentuk meningkatkan produktivitas hasil (sekitar 30%) atau efisiensi penggunaan input produksi (contohnya mengoptimalkan penggunaan pupuk N,P sebesar 20%), walaupun masih perlu kajian lebih lanjut, apakah teknologi tersebut berpotensi memberikan dampak potensial (potential impact). Sebagian besar teknologi unggulan tersebut menunjukkan dampak awal (initial impact) yang positif dalam bentuk penyebaran dan aplikasi teknologi oleh petani di wilayah pengembangan.

Kata Kunci: Inovasi teknologi / Pembangunan pertanian

Abstract. The problem of fertilizer, degraded land, and pollution, management of swampy land resources, and management of limited water resources on agricultural land, are urgent issues or problems that have to be resolved. To overcome these problems, ICALRD has produced several technologies that have been and are ready to be applied. In the last two years, it has been shown that some of the outputs of research results in the form of technological products and recommendations for land resource technology have been applied and utilized in supporting the priority programs in the agricultural sector. The priority programs referred to are: (1) safe the peat swamp and increased farmer's welfare program abbreviated as SERASI, (2) environmental pollution reduction program, (3) agricultural productivity improvement program and (4) climate change anticipation program. There is a paradox opinion between between research institute and farmers; where many technologies have been resulted by research institute and ready for application but according to some farmers only few technologies are available and applicable. For this reason, a careful analysis is needed to assess what the problems are and how to overcome them so that the research technology is more effective. Initial evaluation results of several technologies utilized in the priority program have shown the added values or technical efficiency index values in the form of increasing yield productivity (around 30%) or efficient use of production inputs (eg efficient use of N, P fertilizers up to 20%). However, there is still a need for further study to determine whether the technology is promising to have a potential impact. Most of the leading technologies show positive initial impacts in the form of technological dissemination and application by farmers in development areas.

Keywords: Technological innovation / Agricultural development

PENDAHULUAN

Dalam pemenuhan kebutuhan pangan nasional, dihadapkan ke dua aspek penting, yaitu aspek konsumsi dan aspek produksi.

Aspek konsumsi terkait dengan laju pertumbuhan penduduk yang cepat, yaitu sekitar 2% pertahun, dengan konsumsi perkapita saat ini adalah 111,58 kg beras (BPS 2020). Sedangkan dalam aspek produksi dihadapkan ke masalah ketersediaan lahan terutama

akibat alih fungsi lahan sawah ke non pertanian. Hasil penelitian Mulyani *et al.* (2016), mendapatkan bahwa laju konversi lahan sawah nasional terjadi sebesar 96.512 ha th⁻¹. Dengan tingkat laju tersebut, lahan sawah yang ada sekarang seluas 8,1 juta ha akan menciut menjadi hanya sekitar 5,1 juta ha pada tahun 2045. Winoto (2005) mengemukakan bahwa berdasarkan rencana tata ruang kabupaten/kota di Indonesia diperkirakan akan terjadi konversi lahan sawah seluas 3.099.020 ha atau 42,37% dari total lahan sawah. Apabila konversi lahan sawah tersebut tidak dapat dihindari, maka akan mengancam ketahanan pangan nasional.

Dengan kondisi tersebut harus dicari pemecahannya, apakah dari aspek konsumsi meliputi : diversifikasi pangan sehingga konsumsi pangan tidak hanya tergantung ke beras, pemanfaatan lahan rawa, lahan kering yang sesuai untuk pengembangan tanaman pangan serta upaya peningkatan produktivitas melalui inovasi teknologi. Untuk meningkatkan produktivitas pertanian, banyak sekali isu atau permasalahan yang dihadapi, meliputi aspek sumberdaya tanah, air dan perpupukan, lahan terdegradasi, dan pencemaran, pengelolaan sumberdaya lahan rawa, dan pengelolaan sumberdaya air yang terbatas. Untuk itu harus dicari dan dirumuskan pemecahannya

Permasalahan lainnya adalah penguasaan dan pemilikan lahan oleh petani, yang ditunjukkan oleh jumlah petani gurem (pemilikan < 0,5 ha) yang semakin meningkat dari 10,80 juta petani pada tahun 1993 menjadi 13,66 juta petani pada tahun 2003, dan sekitar > 15 juta petani pada tahun 2010 (BPS 1993 dan 2003). Apabila dibandingkan dengan negara lainnya, luas lahan pertanian (sawah dan tegalan) per kapita di Indonesia sangat rendah, yaitu hanya sekitar 1.037 m², sedangkan di Thailand 5.230 m², Australia 26.100 m², Canada 14.870 m², dan USA 6.150 m² (Sumarno 2014). Dengan makin bertambahnya jumlah penduduk, pemilikan lahan yang semakin sempit dan fragmentasi lahan produktif antara lain sebagai akibat sistem bagi waris, serta sulitnya akses untuk memperoleh lahan pertanian baru bagi masyarakat kecil maka ketahanan pangan nasional serius untuk diperhatikan.

Penerapan inovasi teknologi pertanian berperan dalam meningkatkan produktivitas usaha tani sehingga berpeluang untuk meningkatkan kesejahteraan hidup, yang salah satunya diindikasikan oleh ketahanan pangan rumah tangga petani (Fatchiya *et al.* 2016).

Upaya peningkatan produktivitas dan produksi merupakan salah satu pilihan dalam menjaga ketahanan pangan nasional, dan penerapan inovasi teknologi yang bersifat intensifikasi atau ekstensifikasi ke lahan baru menjadi prasaratnya. Yang jadi masalah adalah inovasi teknologi tersebut khususnya teknologi hasil penelitian pertanian masih menjadi opini yang paradoks, yaitu institusi lembaga riset menganggap merasa banyak teknologi hasil penelitian yang siap diaplikasikan, tetapi menurut sebagian petani sangat terbatas teknologi hasil penelitian yang siap dimanfaatkan petani. Untuk itu perlu analisis secara seksama sehingga memperoleh gambaran yang akurat dan dimana letak permasalahannya serta bagaimana cara mengatasinya agar teknologi hasil penelitian tersebut efektif dimanfaatkan oleh petani.

Syahyuti (2013) mengemukakan bahwa inovasi teknologi terbukti menjadi sumber pertumbuhan dan meningkatkan produksi pertanian dan pendapatan petani. Inovasi dimaksud terdiri atas invensi (temuan baru) hasil penelitian dan proses diseminasi. Proses diseminasi adalah suatu kegiatan penyampaian materi berupa teknologi maupun informasi dari sumber (lembaga riset) kepada penerima (petani/masyarakat atau *stakeholders*) melalui saluran diseminasi, sehingga seseorang akan menerima yang akhirnya akan memanfaatkan teknologi dan informasi tersebut. Ristek Dikti (2017) menyatakan bahwa diseminasi teknologi merupakan salah satu instrument kebijakan Kementerian Ristek yang dikembangkan dengan mempertimbangkan masih ada sektor pembangunan yang belum mampu berkembang dan belum mampu bersaing karena lemahnya penerapan, penguasaan dan pemanfaatan teknologi.

Rogers dalam Bungin (2006) mengemukakan bahwa ada empat unsur dalam difusi inovasi teknologi, yaitu: temuan baru tentang invensi, saluran komunikasi, waktu dan sistem sosial. Inovasi berkaitan dengan gagasan, tindakan atau barang yang dianggap baru oleh seseorang dan masyarakatnya. Konsep baru ini dimulai dari pengenalan terhadap invensi, persuasi dan keputusan untuk menerapkan atau memanfaatkan invensi tersebut yang lazim dikenal dengan proses adopsi terhadap invensi atau teknologi baru. Purnomo *et al.* (2015) mengemukakan bahwa metode penyuluhan percepatan transfer teknologi yang dinilai paling efektif adalah sekolah lapang, temu lapang dan demplot. Sejalan dengan itu, inovasi teknologi sumberdaya lahan terutama teknologi terapan banyak dilaksanakan melalui demplot dan temu lapang, yang perlu dianalisis

pemanfaatan dan dampaknya terhadap pembangunan pertanian. Selanjutnya Pratiwi *et al.* (2018) mengemukakan bahwa sekolah lapang di pedesaan perlu ditingkatkan, karena kebanyakan petani di pedesaan lebih percaya kepada sekolah lapang.

Tujuan dari penulisan makalah ini adalah untuk memberikan informasi yang akurat tentang manfaat dan dampak inovasi teknologi sumberdaya lahan pertanian, dengan menggunakan indikator indeks efisiensi teknologi.

INOVASI TEKNOLOGI UNGGULAN

Dalam dua tahun terakhir (2018/2019) penelitian di lingkungan Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan, telah menghasilkan 21 teknologi unggulan hasil penelitian yang secara langsung mendukung program prioritas Kementerian Pertanian. Khusus inovasi teknologi dalam bentuk peta, dalam tahun 2015-2017 telah digunakan 162 peta SDLP, yang dimanfaatkan untuk : rencana pendirian pabrik gula di luar Jawa, RTRW, pengembangan lahan peternakan, kesesuaian lahan, pengembangan usaha ternak dan komoditi lain, perencanaan dan perluasan areal, pengelolaan lingkungan dan AMDAL, inventarisasi lahan gambut, dan pembangunan infrastruktur jalan (Mamat *et al.* 2020).

Selanjutnya Mamat *et al.* (2020) menyatakan bahwa dampak awal (*initial impact*) dari inovasi teknologi adalah terkait dengan kebijakan *stakeholders* khususnya pemerintah daerah yang mengaplikasikan beberapa teknologi hasil penelitian dalam program prioritas Kementerian Pertanian, seperti: program selamatkan lahan rawa dan sejahterakan petani (SERASI), penurunan pencemaran lingkungan, peningkatan produktivitas dan program antisipasi perubahan iklim.

Inovasi Teknologi Unggulan Mendukung Program SERASI

Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa (Balittra) merupakan salah institusi Badan Litbang Pertanian yang menurut Peraturan Menteri Pertanian No.23/Permentan/OT.140/3/2013 adalah melaksanakan penelitian lahan rawa untuk pertanian. Sementara salah satu fungsinya adalah melaksanakan penelitian teknologi pengelolaan sumberdaya lahan rawa dan melaksanakan penelitian komponen teknologi sistem dan usaha agribisnis pertanian lahan rawa. Berdasarkan

tugas pokok dan fungsi Balittra tersebut, maka Balittra bertugas untuk mendukung program SERASI melalui penyediaan inovasi teknologi pengelolaan lahan rawa. Menurut Balittra (2019a) inovasi teknologi hasil penelitian Balittra 2018-2019 terdiri atas: benih padi rawa, biotara, DSS pemupukan padi, teknologi Panca Kelola, dan mini polder.

Benih Padi Rawa

Perluasan areal tanam padi ke lahan rawa mulai meningkat tiga tahun terakhir dan inilah dampak nyata dari diseminasi Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian untuk meningkatkan potensi rawa mendukung program SERASI. Dengan semakin meningkatnya pertanaman padi rawa, dukungan ketersediaan benih sumber sangat penting. Pembentukan UPBS padi rawa merupakan salah satu upaya untuk menyediakan benih sumber padi rawa, khususnya varietas Inpara, sehingga adopsi dan penyebarannya meningkat. Selain itu benih padi rawa yang dihasilkan harus merupakan benih bermutu. Benih bermutu disyaratkan untuk memiliki kemurnian genetik (tingkat kemurnian benih dan campuran varietas lain), mutu fisiologi (daya tumbuh benih) dan mutu fisik (kotoran benih, campuran biji gulma dan biji tanaman lain). Ada empat kelas benih, yaitu benih penjenis (BS= *breeder seed*), benih dasar (FS=*foundation seed*), benih pokok (SS=*stock seed*) dan benih sebar (*extension seed*) (Balittra 2019a).

Benih padi rawa (Inpara 1, 2, 3, dan 6) merupakan varietas lokal yang sudah adaptif di lahan rawa pasang surut. Sedangkan untuk di lahan rawa lebak varietas Inpara yang terkenal adalah Inpara 3, 4, Inpara 29-Rendaman, Inpara-Ciherang-Sub1, Inpara 8-Agritan, Purwa dan Inpara 10 BLB (Balai Besar Penelitian Tanaman Padi 2020). Inpara adalah singkatan dari Inbrida Padi Rawa. Varietas padi yang tahan terhadap genangan air, untuk daerah rawa, daerah yang sering tergenangi air atau sering terendam air. Padi ini sangat disenangi masyarakat karena preferensi konsumen masyarakat Kalimantan Selatan yang senang nasi pera, relatif tahan terhadap hama penyakit dan yang lebih penting lagi harganya, jika dijual lebih tinggi dibanding varietas unggul dan menjualnya mudah. Varietas ini memiliki keunggulan adaptif di lahan rawa, hasil panen sebesar 3-4 t/ha dan berasnya disenangi masyarakat (Balittra 2019a).

Menurut Balittra (2019a), pada musim tanam 2018 dan 2019, benih padi rawa tersebut telah menunjukkan dampak awal (*initial impact*) dan

berkembang di beberapa kabupaten yang luas keseluruhannya mencapai 620,5 ha atau setara dengan produksi 2.171 ton GKP per musim (IP 100) dan jika harga gabah per kg Rp. 5.000 maka dampak awal tersebut setara nilai Rp. 10,855 milyar. Kabupaten yang memperoleh dampak tersebut, meliputi beberapa Kabupaten: Batola (322 ha), Tabalong (5 ha), Banjar (7,5 ha), Kapuas (136 ha), Tala (60 ha), Tapin (30 ha), Kalbar (20 ha), Kaltim (40 ha). Selanjutnya benih rawa tersebut akan terus berkembang dan berpotensi meluas terus, dengan potensi mencapai 6.000 ha, yaitu di Kabupaten Batola (4.000 ha), Tabalong (250 ha), Banjar (250 ha), Kapuas (500 ha), Tala (250 ha), Tapin (250 ha), Kalbar (250 ha), dan Kaltim (250 ha). Potensi dampak tersebut setara dengan GKP 21.000 ton per musim atau setara nilai Rp. 105,00 milyar.

Biotara

Biotara (biologi tanah rawa) adalah teknologi pupuk hayati untuk tanaman padi yang terdiri dari konsorsium mikroba dekomposer, pelarut P dan penambat N. Formula pupuk hayati tersebut menggunakan bahan pembawa serbuk jerami padi (Nurita dan Saleh 2016). Biotara dapat menggefisienkan pemberian pupuk N dan P anorganik > 30% dan meningkatkan hasil 20% dan ramah lingkungan (Mukhlis 2010).

Menurut Balittra (2019a), pupuk hayati Biotara ini sudah berkembang di Kabupaten Batola, HSU, Kapuas. Dari pengamatan penggunaan Biotara dapat mengefisienkan penggunaan pupuk N 40% dan P 30%, dan peningkatan produksi 0,5-1,0 ton/ha. Saat ini pemakaian pemupukan N dan P 25 kg/ha, yang berasal dari pupuk urea dan NPK. Dampak awal saat ini mencapai luas 168 ha, yaitu: di Batola dan 15 ha di Kapuas serta 118 ha di Sumatera Selatan. Jika masing-masing lokasi tersebut menggunakan 25 N kg perha, maka total penggunaan N saat ini di Batola, Kapuas dan Sumatera Selatan adalah 7.525 N kg atau setara dengan urea 50.166 kg. Maka nilai ekonomi efisiensi dari penggunaan BIOTARA adalah Rp. 200.664.000 (40 % x 50.166 kg Urea atau Rp. 10.000). Sedangkan peningkatan produksinya adalah 0,5 ton per ha atau setara nilai Rp. 752.500.000 (301 ha x 0,5 ton x Rp. 5.000).

DSS Pemupukan Padi Lahan Rawa

Sebagian besar penelitian pemupukan sebelumnya masih bersifat parsial, jarang dihubungkan dengan dinamika hara dalam tanah dan belum dilaksanakan secara terpadu, sehingga penerapannya

belum memberikan hasil yang maksimal. Rekomendasi teknologi pengelolaan hara terpadu yang bersifat spesifik diharapkan mampu meningkatkan produktivitas lahan dan produksi tanaman di lahan rawa. Agar rekomendasi hasil penelitian pemupukan padi di lahan rawa cepat diadopsi oleh pengguna, maka perlu disajikan dalam bentuk software sederhana dan mudah dimengerti oleh pengguna yang dikenal sebagai *Decision Support System* (DSS) pemupukan padi lahan rawa (Alwi dan Fahmi 2016).

Menurut Balittra (2019a), keunggulan *decision support system* (DSS) pemupukan padi lahan rawa ini dapat dijadikan dasar dalam rekomendasi dosis amelioran dan pupuk di lahan rawa. DSS ini sudah direspon dan digunakan seluas 695,5 ha oleh petani yang tersebar di beberapa kabupaten, yaitu : di Kabupaten Hulu Sungai Utara (15 ha), Batola (78 ha), Banjarbaru (2,5 ha), Kapuas (150 ha), Sambas (250 ha), Banyuasin (50 ha), Tapin (50 ha), Tanah Laut (50 ha), Banjar (50 ha). Dosis pemberian amelioran dan pupuk menjadi lebih akurat, berdasarkan pendekatan konsep pupuk berimbang. Penggunaan DSS dalam pemupukan padi akan meningkatkan efisiensi pemakaian amelioran dan pupuk. Potensi dampak yang akan menggunakan DSS dimaksud seluas 32.405 ha, yang tersebar di beberapa lokasi diatas adalah : Hulu Sungai Utara (2.250 ha), Batola (4.000 ha), Banjarbaru (50 ha), Kapuas (5.000 ha), Sambas (17.000 ha), Banyuasin (1.300 ha), Tapin (800 ha), Tanah Laut (1.750 ha), Banjar (255 ha).

Teknologi Panca Kelola

Optimalisasi lahan rawa merupakan salah satu program Kementerian Pertanian yang terus dikembangkan untuk menjawab tantangan 'Pertanian Maju, Mandiri dan Modern' berbasis teknologi dalam mendukung terwujudnya Indonesia sebagai Lumbung Pangan Dunia 2045. Melalui program ini, masyarakat dapat memanfaatkan Teknologi Panca Kelola Lahan Rawa (Badan Litbang Pertanian 2020). Teknologi Panca Kelola Lahan Rawa yang meliputi teknologi pengelolaan air, penyiapan dan penataan lahan, ameliorasi dan pemupukan, varietas unggul, serta pengendalian organisme pengganggu tanaman terpadu. Balittra (2019b) melaporkan bahwa teknologi panca kelola lahan rawa, mampu meningkatkan produktivitas padi sebesar 30%, dan indeks pertanaman (IP) meningkat dari IP 100 menjadi IP 200. Teknologi panca kelola terdiri atas: (1) pengelolaan air dan penataan pengolahan lahan, (2) pengelolaan hara dan



Gambar 1. Sosialisasi teknologi panca kelola lahan rawa di Kabupaten Kapuas, Kalimantan Tengah (Sumber: Balittra 2019b)

Figure 1. Technology dissemination of five swampland management in Kapuas District, Central Kalimantan (Source: Balittra 2019b)

pemupukan, termasuk ameliorasi, (3) sistem dan pola tanam, (4) pengendalian hama dan penyakit tanaman serta (5) penggunaan alsintan. Jika panca kelola diterapkan di lahan rawa, maka mampu meningkatkan produktivitas sebesar 30 %.

Dampak awal (*initial impact*) dari teknologi ini, saat ini teknologi panca kelola sudah berkembang di Desa Sidomulyo Kecamatan Tamban Catur (Kabupaten Kapuas) seluas 20 ha; Desa Jejangkit 67 ha, Desa Puntik Tengah Kecamatan Madastana (Kabupaten Batola) 2 ha, Desa Hambuku Raya, Hambuku Pasar, Hambuku Hulu (Kabupaten Hulu Sungai Utara) 80 ha.

Potensi dampak dalam skala yang lebih luas lagi adalah di Kecamatan Tamban Catur, Kabupaten Kuala Kapuas seluas 1.000 ha, Jejangkit, Kabupaten Barito Kuala seluas 3.000 ha dan di Kabupaten Hulu Sungai Utara seluas 600 ha. Gambar 1 menunjukkan sosialisasi teknologi panca kelola di lahan rawa di Kabupaten Kapuas, Kalimantan Tengah pada bulan Agustus 2019 (Balittra 2019b).

Polder Mini

Menurut Mamat dan Noor (2019) pengembangan pertanian di lahan rawa memerlukan paling sedikit tujuh komponen teknologi spesifik, diantaranya adalah pengelolaan air dan penataan lahan. Salah satu cara pengelolaan air di lahan rawa adalah dengan sistem polder. Menurut Noor *et al.* (2019), sistem polder adalah sistem pengelolaan air

yang digagas awalnya oleh Schophuys pada tahun 1952 dan tahun 1986, seorang ahli pertanian dan lingkungan Belanda yang ditugaskan pada masa tahun 1930-an untuk penanganan pertanian lahan rawa, di antaranya dengan dibangunnya Polder Alabio di Kabupaten Hulu Sungai Utara (HSU), Kalimantan Selatan pada luas sekitar 6.000 hektare. Selanjutnya Anwar *et al.* (2016) menjelaskan bahwa dalam beberapa kajian diusulkan untuk polder Alabio seluas 6.000 hektare di atas untuk dipecah atau dibagi menjadi sub-sub polder atau polder mini dengan unit-unit pengelolaan seluas antara 200 - 500 hektare agar pengelolaan airnya dapat lebih mudah, efektif, dan efisien.

Pada acara Hari Pangan Sedunia (HPS) 2018 di Desa Jejangkit Muara, Kabupaten Barito Kuala, Kalimantan Selatan, Kementerian Pertanian memperkenalkan sistem polder mini sebagai model pengelolaan air di lahan rawa. Sistem ini dikembangkan dengan mengadopsi praktek pengelolaan air tradisional yang memang sudah populer di masyarakat. Sistem polder mini ini merupakan bangunan air berupa tanggul keliling yang dilengkapi saluran utama masuk, keluar, dan saluran pembagi (Kementan 2018). Selain itu, ada pula pompa besar untuk memasukkan air pada saat kekeringan dan mengeluarkan pada saat kelebihan (Gambar 2).

Menurut Balittra (2019a), keunggulan minipolder ini adalah mempertahankan ketinggian air sesuai dengan keperluan tanaman padi dan



Gambar 2. Pompa air pada polder mini di Jejangkit, Kalimantan Selatan (Sumber: Kementan 2018)

Figure 2. Water pumps in mini polders in Jejangkit, South Kalimantan (Source: Kementan 2018)

meningkatkan indeks pertanaman. Minipolder ini sudah diaplikasikan di Kabupaten Hulu Sungai Utara (87 ha) dan Kabupaten Banjarbaru (1,5 ha). Sedangkan potensinya adalah mencapai 6.039 ha yang tersebar di Kabupaten Hulu Sungai Utara seluas 6.000 ha, dan Kabupaten Banjarbaru seluas 39 ha.

Inovasi Teknologi Unggulan Mendukung Pertanian Ramah Lingkungan

Salah satu implementasi konsep pertanian ramah lingkungan adalah penggunaan pestisida yang ramah lingkungan. Pestisida ramah lingkungan adalah pestisida yang mempunyai kemampuan mengendalikan organisme pengganggu tanaman namun pestisida tersebut lebih cepat terurai, mempunyai toksisitas relatif rendah pada hewan, tidak meninggalkan residu di lingkungan maupun produk sehingga relatif lebih aman pada manusia dan lingkungan (Ardiwinata dan Sutriadi 2020).

Menurut Balai Lingkungan Pertanian (2019), inovasi teknologi unggulan mendukung pertanian ramah lingkungan yang dihasilkan Badan Litbang Pertanian, melalui Balai Lingkungan Pertanian terdiri atas: biopestisida, teknologi ramah lingkungan (Ramli), dan filter inlet outlet (FIO).

Biopestisida

Dalam pertanian modern, hama dan penyakit tanaman harus dikendalikan secara terpadu. Biopestisida merupakan salah satu komponen dalam pengelolaan hama dan penyakit. Biopestisida didefinisikan sebagai bahan yang berasal dari makhluk hidup (tanaman, hewan atau mikroorganisme) yang berkhasiat menghambat pertumbuhan dan

perkembangan atau mematikan hama atau organisme penyebab penyakit (Sumartini 2016).

Salah satu keunggulan biopestisida ini adalah pestisida berbahan baku alami dari sumberdaya lokal (daun mimba, urine sapi, kunyit, daun mahoni dll) yang diperkaya dengan mikroba. Biopestisida dapat digunakan sebagai pengendali hama dan penyakit di pertanaman padi, jagung dan tanaman hortikultura. Keunggulan lainnya, khususnya jika diaplikasikan pada bawang merah akan menghasilkan umbi yang bernas dan meningkatkan daya simpan (Balingtan 2019).

Dampak awal dari teknologi ini, biopestisida ini sudah diaplikasikan dan digunakan sekitar 20,75 ha oleh Kelompok Tani (KT) di Desa Batusari, Kecamatan Batangan, Kabupaten Pati seluas 7 ha dan KT di Kecamatan Kayen, Kabupaten Pati seluas 0,5 ha. Pada tahun 2018, biopestisida ini juga digunakan oleh KT Kecamatan Batangan (10 ha), KT Kecamatan Kayen seluas 0,5 ha, KT Desa Tompomulyo seluas 0,25 ha; petani di Hambuku Raya, Kalimantan Selatan seluas 0,5 ha; petani di Margototo, Lampung seluas 2 ha. Dalam jangka panjang biopestisida ini berpotensi berkembang dalam skala luas di sentra tanaman pangan (padi dan jagung) dan di sentra pengembangan bawang merah (Balingtan 2019).

Teknologi Pertanian Ramah Lingkungan (Ramli)

Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (Balitbangtan) melalui Balai Penelitian Lingkungan Pertanian (Balingtan) telah menghasilkan komponen teknologi dari hasil-hasil penelitian sebelumnya untuk diterapkan dalam budidaya tanaman pangan berbasis kelestarian lingkungan pertanian. Komponen teknologi tersebut dikemas dengan sebutan "Panca Kelola Ramli"

untuk mengelola tanaman pangan ramah lingkungan. Kelima komponen tersebut adalah penggunaan biokompos bersamaan dengan pengolahan tanah, pemupukan berimbang dengan urea berkarbon, pengaturan air irigasi, penggunaan varietas rendah emisi GRK, dan penggunaan pestisida nabati dalam pengendalian organisme pengganggu tanaman (OPT) (Badan Litbang Pertanian 2018).

Penggunaan teknologi panca kelola ramli mampu meningkatkan produksi padi sampai 8 ton GKP dibanding cara eksisting yang produksinya 7 ton GKP perha, artinya teknologi ramli mampu meningkatkan produksi sekitar 1 ton per ha. Teknologi ramli tersebut dapat meningkatkan produktivitas sebagai pengaruh dari paket keseluruhan teknologi ramli, dan sampai saat ini belum dianalisis secara komponen teknologi yang paling berpengaruh terhadap peningkatan produktivitas. Sebagai dampak awal, pada tahun 2018, teknologi ramli digunakan oleh petani di Desa Wotan, Kecamatan Sukolilo, Kabupaten Pati (Balingtan 2019).

Filter Inlet Outlet (FIO)

Air yang berasal dari sungai, sawah, danau yang mengalir ke badan sungai yang nantinya akan digunakan untuk air irigasi mungkin mengandung cemaran logam berat maupun residu pestisida. Air irigasi tersebut biasanya terkontaminasi cemaran logam berat dan residu pestisida akibat dari limbah industri dan pestisida di lahan pertanian intensif. Kandungan residu pestisida pada saluran outlet, selanjutnya akan masuk ke dalam aliran sungai dan akan membahayakan lingkungan biota air dan kesehatan manusia. Oleh karena itu diperlukan teknologi penyaringan air sebelum dan sesudah masuk area

persawahan.

FIO (Filter inlet outlet) merupakan inovasi teknologi berupa alat penyaring residu pestisida dan bahan agro kimia lainnya yang terbawa aliran air permukaan sebelum dan sesudah masuk lahan sawah (Gambar 3). Alat ini dikembangkan oleh Balai Penelitian Lingkungan Pertanian (Balingtan), menggunakan arang atau biochar sebagai filter. FIO biasanya terbuat dari plastik dan kawat kasa dan dilengkapi dengan 11 silinder yang berisi arang aktif yang dapat diisi ulang. Sebuah silinder dapat menampung 100 gr biochar yang ditempatkan pada inlet dan outlet petakan sawah. Bahan pembuat FIO cukup murah, dengan panjang 35 cm, lebar 24,5, tinggi 22,5 cm dan beratnya hanya 850 gram membuat FIO mudah untuk dibawa dan dipindahkan (Rakhma 2019). Menurut Badan Litbang Pertanian (2019), filter ini mampu menjerap jenis residu insektisida organoklorin (DDT, lindan, dieldrin, endrin, heptklor, endosulfan), organofosfat (klorpirifos, profenofos, diazinon), karbamat (karbofuran) di saluran air.

FIO ini dimanfaatkan oleh petani atau *stakeholders* yang cara bertaninya ramah lingkungan atau mengarah ke pertanian organik. Nilai efisiensi dari teknologi ini adalah sangat berperan dalam menghasilkan produk pertanian ramah lingkungan atau pertanian organik. Dalam rangka penyebar luasan alat ini, Fakultas Kesehatan Masyarakat (FKM) Universitas Diponegoro dan Dinas Pertanian Kabupaten Kulonprogo, DIY telah menggunakan FIO sebagai salah satu alat yang digunakan dalam kegiatannya (Balingtan 2019).



Gambar 3. FIO yang sudah terpasang di saluran irigasi (Sumber: Badan Litbang Pertanian 2019)

Figure 3. FIO already installed in the irrigation canal (Source: Badan Litbang Pertanian 2019)

Cover Crop (Rumput Sebagai Tanaman Konservasi)

Kegiatan penambangan timah di Kepulauan Bangka Belitung telah berlangsung sejak era kolonial Belanda. Kegiatan penambangan timah di Pulau Bangka dimulai tahun 1711 dan kegiatan tersebut masih terus berlangsung hingga saat ini. Kegiatan penambangan timah yang tidak mengindahkan aspek ekosistem dan kondisi lingkungan, hanya akan meninggalkan lahan-lahan terlantar dengan kondisi lanskap yang tidak beraturan, degradasi lahan, hilangnya kekayaan *biodiversity* dan biota tanah, dengan status kesuburan tanah yang sangat rendah (Asmarhansyah dan Hasan 2018).

Salah satu upaya direklamasi lahan bekas tambang timah agar lahan tersebut dapat dijadikan sebagai lahan pertanian adalah dengan penanaman tanaman penutup tanah (*cover crop*). Tanaman ini penting karena mampu meningkatkan dan memperkaya kandungan bahan organik tanah. Jenis tanaman penutup tanah yang sering digunakan adalah jenis kacang-kacangan (*legume cover crop*) karena mampu menghasilkan hijauan, memiliki kandungan N tinggi, dan mudah lapuk. Hairiah *et al.* (2003 dalam Asmarhansyah dan Hasan 2018) melaporkan bahwa legume *cover crop* mampu menghasilkan 2-3 ton ha⁻¹ bahan organik pada saat umur tiga bulan dan menghasilkan 3-6 ton ha⁻¹ pada saat umur enam bulan.

Salah satu teknologi rumput sebagai tanaman konservasi pernah dilakukan di Bangka Tengah. Beberapa jenis tanaman penutup tanah yang diterapkan pada lahan bekas tambang adalah komak (*Dolichos lablab*), mukuna (*Mucuna sp.*), Arahis (*Arachis pintoi*), Sentro (*Centrosema sp.*), dan kalopo (*Calopogonium sp.*) (Gambar 4). Dalam penyediaan bahan organik secara

in-situ diperlukan masukan berupa pupuk kandang atau kompos sebagai *stater* untuk pertumbuhan tanaman penutup tanah. Pada lahan bekas tambang timah diperlukan kompos 0,5 kg per lubang tanam dengan jarak tanam 20 x 50 cm. Hal ini agar mudah tumbuh dan cepat menutup tanah, sehingga hijauan yang dihasilkan dapat sebagai sumber bahan organik tanah. Bahan organik yang terdekomposisi dapat menghasilkan hara yang dibutuhkan tanaman. Disamping itu dengan penutupan tanah yang maksimal diharapkan butiran curah hujan tidak langsung membentur tanah, sehingga erosi parit yang sering terjadi pada areal bekas tambang dapat dihambat (Balai Penelitian Tanah 2019, BBSDLP 2016).

Inovasi Teknologi Mendukung Peningkatan Produktivitas Pertanian

Inovasi teknologi untuk mendukung peningkatan produksi pertanian yang dihasilkan oleh Balai Penelitian Tanah sebagai lembaga penelitian di bawah koordinasi Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian adalah: pupuk hayati pereduksi emisi metana, pupuk hayati *blue green algae* (BGA)/Sianobakteri, pupuk hayati lahan salin, pupuk hayati lahan kering, pupuk dan pestisida berbasis cendawan *dark septate endophytes* (DSE) untuk aneka tanaman.

Pupuk Hayati Pereduksi Emisi Metana

Pupuk hayati adalah pupuk hasil rekayasa bioteknologi yang kandungan utamanya berupa mikroorganisme-mikroorganisme menguntungkan bagi kesuburan tanah dan pertumbuhan tanaman baik secara vegetatif maupun generatif. Berpedoman kepada Peraturan Menteri Pertanian No.2 tahun 2006, pupuk



Gambar 4. Keragaan tanaman Sentro (*Centrosema sp.*) dan Kalopo (*Calopogonium sp.*) (Sumber: BBSDLP 2016)

Figure 4. The performance of Sentro (*Centrosema sp.*) and Kalopo (*Calopogonium sp.*) plants (Source: BBSDLP 2016)

hayati digolongkan kedalam pupuk pembenah tanah. Pupuk hayati selain dapat digunakan untuk meningkatkan produktivitas tanah dan tanaman juga dapat digunakan sebagai pereduksi emisi gas rumah kaca metana.

Metana atau CH₄ merupakan gas rumah kaca yang menduduki peringkat ke-3 setelah CO₂, dan pertanaman padi sawah merupakan salah satu dari sumber utama emisi metana, menyumbang sekitar 5-19% total CH₄ global. Emisi metana dari lahan sawah merupakan netto dari produksi metana (metanogenesis) dan oksidasi metana (*metanotrof*). Sekitar 60-90% metana yang dihasilkan akan dioksidasi secara in situ sebelum terlepas ke atmosfer (Wassmann *et al.* 1993).

Emisi metana dapat direduksi melalui proses oksidasi metana yang merupakan proses pemecahan senyawa metana oleh mikroorganisme *metanotrof* menggunakan enzim *methane monooxygenase* yang mampu mengoksidasi metana menjadi karbon dioksida melalui serangkaian reaksi kimiawi dengan menghasilkan senyawa metabolik intermediet seperti metanol, formate, dan formaldehyde (Topp dan Pattey 1997). Proses oksidasi metana dapat berlangsung dalam kondisi aerob maupun anaerob (Smemo dan Yavitt 2010).

Salah satu upaya mitigasi dampak pemanasan global akibat penanaman padi, adalah menggunakan pupuk hayati yang mengandung konsorsia bakteri multifungsi sebagai penyedia hara (penambat N₂ dan pelarut P), penyedia fitohormon IAA dan sebagai agen pereduksi gas metana di lahan sawah tergenang. Aplikasi bakteri pereduksi emisi metana pada tanaman padi di lahan sawah intensif mampu meningkatkan efisiensi pupuk NP anorganik sebesar 25% dan meningkatkan hasil panen padi sebesar 15%, sekaligus mereduksi lebih dari 50% emisi gas metana. Aplikasi pada benih padi hanya satu kali, yakni ketika akan ditanam di pesemaian dengan cara *seed treatment*. Dosis aplikasi 400 g-500 g/ha, atau 400g-500g/25 kg benih padi (Balai Penelitian Tanah 2019).

Pupuk Hayati Blue Green Algae (BGA)/Sianobakteri

Penggunaan pupuk anorganik yang berlebihan umumnya menurunkan kandungan bahan organik lahan pertanian sampai kurang dari 1 % sehingga penggunaan pupuk hayati perlu dipertimbangkan. Di lahan sawah, pupuk hayati yang berpotensi untuk menurunkan dosis pupuk nitrogen (N) adalah *blue green algae*. *Blue green algae* (BGA) adalah jenis alga yang biasa tumbuh di lahan sawah diantaranya adalah

Anabaena dan *Nostoc*. Alga ini dapat menjadi sumber nitrogen tersedia karena mikroba ini dapat memfiksasi N₂ secara non simbiotik (Setiawati *et al.* 2009).

Salah satu produk unggulan pupuk hayati dari Balai Penelitian Tanah adalah pupuk hayati *blue green algae*. Beberapa keunggulan dari pupuk hayati ini adalah: aplikasinya mudah yaitu dengan cara diinokulasikan pada benih; mengandung konsorsium *sianobakteri* yang berfungsi sebagai penambat N dan pelarut P; mengurangi penggunaan pupuk NPK anorganik sebesar 25-50%; meningkatkan produksi padi hingga 20%; meningkatkan kemantapan agregat dari kurang mantap menjadi mantap. Dosis pemakaian sebanyak 500 g/25 kg/benih padi dan diaplikasikan pada ekosistem lahan sawah baik pada dataran rendah maupun tinggi (Balai Penelitian Tanah 2019).

Pupuk Hayati Tanah Salin

Salah satu dampak dari perubahan iklim adalah terjadinya kenaikan tinggi muka laut (TML) baik secara langsung maupun tidak langsung. Kenaikan TML dipengaruhi oleh penambahan masa air karena mencairnya es di *Greenland* dan Antartika serta es glasier dan bertambahnya volume air karena ekspansi termal dengan massa air tetap, yang disebabkan oleh naiknya suhu air laut. Kenaikan TML tersebut menyebabkan sebagian daerah pesisir akan tergenang dan intrusi air laut akan semakin meluas ke lahan-lahan pertanian di dekat pantai sehingga tanah bersifat salin (Sukarman *et al.* 2018).

Tanah salin adalah tanah dengan kandungan garam mudah larut (NaCl, Na₂CO₃, Na₂SO₄) yang tinggi, sehingga berpengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Baik dan buruknya pengaruh salinitas dapat disebabkan oleh (1) setiap spesies tanaman mempunyai tingkat kerentanan tertentu terhadap salinitas tanah, (2) karakteristik tanah (khususnya tekstur tanah) dapat mempengaruhi, (3) kandungan air tanah, dan (4) komposisi garamnya (Rachman *et al.* 2018). Menurut *Committee of the Soil Science, Society of America*, lahan salin adalah tanah yang banyak mengandung garam dan dicirikan oleh nilai *electrical conductivity* (EC) 2 dS/m atau lebih dalam larutan tanah (Sukarman *et al.* 1998).

Menurut Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian (2020), salah satu lembaga penelitian dibawah koordinasinya, yaitu Balai Penelitian Tanah (Balittanah), telah mengembangkan pupuk hayati yang dapat mengatasi problem pertanian di lahan salin. Produk ini mengandung konsorsia bakteri yang

memiliki keunggulan: mampu membantu tanaman mengendalikan cekaman salinitas dengan menghasilkan enzim *ACC deaminase* sebagai pendegradasi hormon stres dan memproduksi eksopolisakarida (EPS), menambat Nitrogen dan melarutkan hara P yang terikat. Cara aplikasi sederhana yaitu dengan pembaluran dengan benih (*seed treatment*). Dosis aplikasi yang rendah (500 gr/ha). Pupuk hayati ini tergolong teknologi baru. Produk ini sudah diaplikasikan pada lahan sawah salin di wilayah pesisir pantai (pantai utara Pulau Jawa dan Sulawesi serta setempat-setempat di Kalimantan), yaitu pada lahan kering di dataran rendah maupun dataran tinggi yang memiliki curah hujan rendah (Balai Penelitian Tanah 2019).

Pupuk Hayati Lahan Kering

Lahan kering adalah suatu hamparan lahan yang tidak pernah tergenang atau digenangi air pada sebagian besar waktu dalam setahun (Mulyani dan Hidayat 2009). Berdasarkan ketinggian tempat dan curah hujan rata-rata tahunan, lahan kering dapat dibedakan atas 4 agroekosistem, yaitu lahan kering dataran rendah iklim basah (LKDRIB), lahan kering dataran rendah iklim kering (LKDRIK), lahan kering dataran tinggi iklim basah (LKDTIB), dan lahan kering dataran tinggi iklim kering (LKDTIK) (Badan Litbang Pertanian 2014).

Lahan kering yang berpotensi untuk pengembangan areal pertanian mempunyai berbagai kendala antara lain adalah rendahnya kandungan unsur hara, terutama unsur N, P dan K, reaksi tanah masam, kejenuhan basa rendah. Salah satu upaya mengatasi rendahnya kandungan hara tanah dapat dilakukan dengan menggunakan agensia hayati. Agensia hayati yang digunakan adalah mikroba yang bersimbiosis dengan akar tanaman. Mikroba-mikroba ini dapat menambat dan melarutkan unsur hara sehingga tersedia bagi tanaman. Mikroba-mikroba tersebut berperan sebagai pupuk hayati yang mampu mengatasi kahat hara di lapangan (Mulyaningsih *et al.* 2015).

Salah satu produk pupuk hayati yang dihasilkan oleh Balai Penelitian Tanah adalah pupuk hayati lahan kering. Produk ini mengandung konsorsia bakteri yang memiliki keunggulan: mampu membantu tanaman mengendalikan cekaman kekeringan dengan menghasilkan enzim *ACC deaminase* pendegradasi hormon stres dan memproduksi eksopolisakarida (EPS), menambat Nitrogen dan melarutkan hara P yang terikat; Cara aplikasi yang sederhana yaitu dengan

pembaluran dengan benih (*seed treatment*). Dosis aplikasi yang rendah (0,5 kg/ha), dan pupuk hayati ini tergolong teknologi baru. Produk ini dapat diaplikasikan pada agroekosistem lahan kering di dataran rendah maupun dataran tinggi yang memiliki curah hujan rendah, terutama pada lahan sawah salin di wilayah pesisir pantai Pulau Jawa, Sulawesi serta setempat-setempat di Kalimantan (Balai Penelitian Tanah 2019).

Pupuk dan Pestisida Hayati Berbasis Cendawan *Dark Septate Endophytes* (DSE) untuk Aneka Tanaman

Pemanfaatan teknologi hayati berbahan aktif seperti cendawan dan bakteri telah menarik perhatian peneliti dan praktisi pertanian saat ini untuk mendukung pertanian yang ramah lingkungan dan berkelanjutan (Suroño 2017). Dalam praktek budidaya pertanian, tanaman juga mendapatkan keuntungan dari interaksi simbiosis dengan mikroorganisme seperti cendawan endofit. Salah satu kelompok cendawan endofit yang telah dilaporkan dan berpotensi sebagai agensia hayati yang dapat memacu pertumbuhan tanaman pada kondisi cekaman baik abiotik dan biotik adalah kelompok cendawan *Dark Septate Endophyte* (DSE) (Santos *et al.* 2016; Suroño dan Narisawa 2018). Cendawan DSE adalah sekelompok cendawan endofit yang memiliki hifa melanin gelap, membentuk koloni berwarna gelap pada media agar dan mampu mengkolonisasi akar tanaman tanpa menyebabkan gejala penyakit (Dalimunthe *et al.* 2019).

Saat ini Balai Penelitian Tanah telah memiliki koleksi berbagai macam spesies cendawan DSE yang berasal dari berbagai macam agroekosistem seperti lahan kering, lahan sawah, dan lahan rawa. Salah satu yang sedang dikembangkan adalah mengenai potensi DSE untuk meningkatkan produktivitas tanaman pertanian di lahan kering, terutama lahan kering masam yang mendominasi lahan kering di Indonesia karena kemampuannya untuk bisa beradaptasi dengan kondisi keasaman tanah yang tinggi (< pH 5.5), Fe dan Al tinggi, mampu melarutkan P dari bentuk Fe-P dan Al-P, serta melalui aktivitas simbiotiknya mampu memacu pertumbuhan tanaman di kondisi cekaman abiotik tersebut. Beberapa hal yang perlu diperhatikan terkait keberhasilan penggunaan pupuk hayati lahan kering antara lain seleksi bahan aktif yaitu mikroba harus ketat berhasil hasil uji laboratorium, rumah kaca, dan lapangan. Di samping itu, mikroba yang digunakan sebagai bahan aktif pupuk hayati adalah mikroba yang mampu meningkatkan

adaptasi tanaman terhadap kondisi cekaman abiotik seperti cendawan DSE dan mikoriza. Teknik inokulasi/penggunaannya yang tepat dan kualitas pupuk hayati yang terkontrol juga menjadi syarat yang penting untuk keberhasilan penggunaan pupuk hayati lahan kering (Balai Penelitian Tanah 2020).

Hasil penelitian para peneliti Balai Penelitian Tanah mendapatkan bahwa produk pupuk dan insektida berbasis cendawan DSE memiliki keunggulan : memacu pertumbuhan tanaman (tomat, cabai, padi, jagung, karet dll) pada kondisi cekaman biotik (penyakit) dan abiotik (keasaman, salinitas, cemaran logam berat dan fungisida); memproduksi senyawa-senyawa antipatogen, fitohormon, siderofor, dan asam-asam organik, serta mampu melarutkan hara P yang terikat (FePO_4); tergolong teknologi baru/pertama di Indonesia. Telah di aplikasikan di Jawa Barat, Lampung, Kalimantan Selatan, Sumatera Utara (Balai Penelitian Tanah 2019).

Biochar

Pada umumnya lahan kering yang sudah dibudidayakan telah mengalami penurunan kualitas lahan atau telah terdegradasi akibat pengelolaan yang tidak tepat. Untuk meningkatkan produktivitas lahan kering diperlukan tindakan rehabilitasi dengan memanfaatkan bahan-bahan yang mudah tersedia (Nurida *et al.* 2015). Menurut Siregar dan Yusuf (2020), upaya mengatasi kendala kesuburan tanah di lahan rawa adalah dengan menambahkan amelioran seperti biochar maupun unsur Si. Di Asia biochar telah digunakan untuk pengelolaan pertanian beberapa ribu tahun yang lalu. Biochar dibuat dengan pirolisis bahan baik residu kayu maupun sisa tanaman, yang menghasilkan produk stabil dengan kandungan karbon tinggi.

Berbagai hasil penelitian telah membuktikan bahwa biochar sangat bermanfaat bagi pertanian terutama untuk perbaikan kualitas lahan (sifat fisik, kimia, dan biologi tanah). Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan biochar dapat meningkatkan kesuburan tanah dan mampu memulihkan kualitas tanah yang telah terdegradasi. Dalam bidang pertanian, biochar berfungsi 1) meningkatkan ketersediaan hara; 2) meretensi hara; 3) meretensi air; 4) meningkatkan pH dan KTK pada lahan kering masam; 5) menciptakan habitat yang baik bagi perkembangan mikroorganisme simbiotik seperti mikoriza karena kemampuannya dalam menahan air dan udara serta menciptakan lingkungan yang bersifat netral khususnya pada tanah-tanah masam; 6)

meningkatkan produksi tanaman pangan; 7) mengurangi laju emisi CO_2 dan mengakumulasi karbon dalam jumlah yang cukup besar. Selain itu, biochar mampu bertahan lamadi dalam tanah (> 400 tahun) karena sulit terdekomposisi (Nurida *et al.* 2015). Menurut Balai Penelitian Tanah (2019), teknologi ini merupakan teknologi yang murah dan bahan bakunya mudah didapat, teknologi ini sudah dimanfaatkan di Lamongan dan Lampung Timur.

Inovasi Teknologi Mendukung Antisipasi Perubahan Iklim

Inovasi teknologi mendukung antisipasi perubahan yang dihasilkan oleh Balai Penelitian Agroklimate dan Hidrologi pada tahun 2018/2019 terdiri atas: peta informasi iklim untuk pertanian, atlas kerentanan usahatani pangan dan risiko iklim, identifikasi lokasi dan pemanfaatan air permukaan untuk mengantisipasi iklim ekstrim dan meningkatkan intensitas pertanaman, pengembangan teknologi pemanfaatan air untuk meningkatkan IP, system informasi kalender tanam terpadu (Balitklimat 2019).

Peta Informasi Iklim untuk Pertanian

Peta informasi iklim untuk pertanian adalah peta yang berisikan prediksi berbagai informasi karakteristik curah hujan untuk 6 bulan ke depan yang secara rutin di perbaharui setiap 3 bulan. Informasi dimaksud, meliputi : (a) Prediksi sifat curah hujan CH 3 bulanan, (b) Prediksi peluang curah hujan kurang dan lebih dari 50 mm/dasarian, (c) Prediksi peluang hari tanpa hujan > 10 hari berturut-turut, (d) prediksi peluang hari hujan > 5 hari berturut-turut, (e) Prediksi peluang hujan ekstrem, dan (f) SPI-3 dan tren SPI-3. Informasi bisa diakses di website balitklimat.litbang.pertanian.go.id. Peta prediksi tersedia untuk level nasional dan 34 provinsi dan mulai dapat diakses sejak tahun 2017 (Balitklimat 2018).

Nilai efisiensinya dari peta informasi ini, dapat mengurangi kerugian akibat gagal tanam dan gagal panen sampai 50% yang disebabkan kondisi iklim yang ekstrim. Teknologi ini sudah didiseminasikan dalam Rapat kordinasi prediksi iklim di Sekretariat Jenderal Pertanian, Badan Ketahanan Pangan serta pada rakor upsus di Jambi, Makasar, Manado, Gorontalo, BPTP Yogyakarta, Purwokerto, Lampung Selatan, BPTP Sumsel, BPTP Sumbar dan Lombok (Balitklimat 2019).

Atlas Kerentanan Usahatani Pangan dan Risiko Iklim

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk menekan dampak perubahan iklim adalah dengan

beradaptasi tanpa harus mengabaikan mitigasi. Dalam kerangka kerja untuk pembangunan rendah karbon dan tangguh iklim, salah satu yang perlu dilakukan adalah kajian tentang resiko dan kerentanan. Kerentanan adalah derajat atau tingkat kemudahan suatu sistem terkena atau ketidakmampuannya menghadapi dampak buruk dari perubahan iklim (Estiningtyas *et al.* 2018).

Atlas kerentanan usahatani pangan dan risiko iklim memuat informasi tentang tingkat kerentanan usahatani pangan dan risiko iklim level kabupaten/kota. Kerentanan usahatani pangan dinilai berdasarkan data sumberdaya lahan (kesuburan tanah dan tingkat kekritisian air serta iklim), data sosial ekonomi (tingkat konsumsi, produksi, luas lahan, jumlah penyuluh, alsintan dll), sedangkan risiko iklim dinilai berdasarkan tren luas banjir dan kekeringan. Disajikan juga faktor determinan yang mempengaruhi tingkat kerentanan serta usulan rekomendasi umum berdasarkan faktor determinan untuk mendukung adaptasi terhadap perubahan iklim di sektor pertanian (Balitklimat 2019). Salah astu contoh peta kerentanan usahatani pangan dan resiko kekeringan level Kabupaten/Kota di Pulau Jawa disajikan dalam Gambar 4.

Diharapkan peta kerentanan usahatani pangan dan risiko iklim ini dapat membantu para pengambil kebijakan dalam menentukan wilayah prioritas,

penyusunan program serta aksi adaptasi perubahan iklim (Estiningtyas *et al.* 2018). Teknologi ini sudah disosialisasikan dalam bentuk bimtek ke dinas dan pemda di Purwakarta, Manado, Gorontalo dan Sulawesi Selatan.

Pengembangan Teknologi Pemanfaatan Air untuk Meningkatkan IP, Melalui Pemanfaatan DAM Parit

Salah satu upaya untuk meningkatkan produksi pertanian khususnya tanaman padi, baik pada lahan sawah irigasi, lahan sawah tadah hujan maupun lahan kering adalah dengan meningkatkan indeks pertanaman (IP). Indeks pertanaman dapat ditingkatkan melalui optimalisasi pemanfaatan sumberdaya air dan peningkatan ketahanan air, yaitu melalui teknologi panen hujan (Sutrisno dan Hamdani 2019). Teknologi panen hujan melalui dam parit merupakan teknologi sederhana yang berupaya menampung air hujan dan aliran permukaan pada jaringan hidrologi di sebuah penampungan. Teknik ini dapat menurunkan kecepatan aliran permukaan, mengurangi volume air yang mengalir, dan menyimpan air untuk musim kemarau (Heryani *et al.* 2014).

Menurut Balitklimat (2019), teknologi dam parit sudah dikembangkan salah satunya di desa Tompobulu, Kecamatan Tompobulu, Kabupaten Maros, memiliki lebar 60 m dan dapat memberikan



Gambar 5. Peta kerentanan usahatani pangan dan resiko kekeringan level Kabupaten/Kota di Pulau Jawa (Sumber: Estiningtyas 2018)

Figure 5. Map of vulnerability of food farming and drought risk at district /city level in Java Island (Source: Estiningtyas 2018)

layanan irigasi pada lahan sawah tadah hujan seluas 75 ha. Dam parit tsb dapat meningkatkan IP dari 100 menjadi 200 atau 300 dan produktivitas padi meningkat dari 4 ton menjadi 6 ton GKG. Pada MK 2 dapat diitanami jagung dengan produktivitas mencapai 6 ton/ha. Dengan pemanfaatan tersebut maka dampak awalnya adalah sekitar Rp. 1,875 milyar (75 ha x rata 5 ton GKG x Rp. 5.000).

Sistem Informasi Kalender Tanam Terpadu (SI-KATAM)

Balitbangtan telah meluncurkan Sistem Informasi Kalender Tanam Terpadu (SI Katam Terpadu) untuk tanaman padi lahan irigasi yang merupakan salah satu bentuk informasi upaya adaptasi terhadap keragaman dan perubahan iklim. SI Katam Terpadu menggambarkan potensi pola waktu tanam untuk tanaman pangan, terutama padi, jagung, dan kedelai berdasarkan potensi dan dinamika sumberdaya iklim dan air. Pemanfaatan informasi estimasi kalender tanam yang dipadukan dengan informasi lain seperti wilayah rawan banjir, kekeringan, serangan OPT, varietas unggul yang tepat, rekomendasi pemupukan yang rasional, dan pengawalan alat mesin pertanian (alsintan) yang intensif serta kecukupan nutrisi ternak dapat memperkuat ketahanan pangan nasional (Tim Katam Terpadu 2020).

Menurut Balitklimat (2019), pemanfaatan sistem ini adalah: (a) Mendukung Program Peningkatan Produksi Beras Nasional (P2BN), Program Lumbung Pangan Dunia 2025 dan program ketahanan pangan pada umumnya dalam upaya menyikapi keragaman

(variabilitas) dan perubahan iklim ; (b) Mendukung budidaya tanaman pangan. Dengan kalender tanam dapat diketahui waktu dan pola tanam di daerah tertentu selama setahun; (c) Memberikan informasi komoditas yang biasa ditanam pada suatu wilayah dari mulai persiapan lahan sampai dengan panen selama setahun; (d) Dapat digunakan pengambil kebijakan (a.l. Ditjen terkait) dalam menyusun perencanaan penyediaan sarana dan prasarana

Pemanfaatan sistem kalender tanam terpadu adalah merekomendasikan waktu dan pola tanam di daerah tertentu selama setahun, informasi komoditas yang bisa ditanam pada suatu wilayah dari mulai persiapan lahan sampai dengan panen selama setahun. Dengan aplikasi KATAM dapat meningkatkan menjadi 7,6 ton/ha dibandingkan dengan konvensional petani tanpa aplikasi KATAM (5,6 ton/ha) pada tanaman padi. Sedangkan aplikasi pada jagung, dapat meningkatkan produksi 6,8 ton/ha dibandingkan tanpa KATAM sebesar 5,2 ton/ha. Produksi kedelai dengan aplikasi KATAM meningkat menjadi 2 ton/ha dibanding tanpa KATAM 1,7 ton/ha (Balitklimat 2019).

Pemanfaatan Peta Sumberdaya Lahan

Salah satu teknologi keluaran dari Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan adalah dalam bentuk peta atau Atlas Peta. Teknologi dalam bentuk peta atau data spasial tersebut telah dimanfaatkan oleh beberapa instansi pemerintah dan swasta sebagai pengguna.



Gambar 6. Tampilan menu awal SI KATAM Terpadu versi 3.1. (Sumber: Tim Katam Terpadu 2020)

Figure 6. Initial menu display of Integrated SI KATAM (Crop calendar) version 3.1. (Source: Tim Katam Terpadu 2020)

Selama 3 tahun (2015 – 2017) sebanyak 162 peta diminta oleh pihak pengguna yaitu institusi pemerintah (Dinas di daerah, Badan di Kementerian dll), perguruan tinggi dan mahasiswa, perusahaan swasta dan perorangan. Jenis peta yang diperlukan tersebut, terdiri atas: peta tanah semi detail kabupaten/kota, peta kesesuaian lahan, peta sebaran gambut, peta Agro Ecological Zone (AEZ), Atlas Peta Tanah, peta Daerah Aliran Sungai (DAS), peta tanah daerah perbatasan, peta sawah tadah hujan, peta satuan lahan, dan peta land sistem. Peta tersebut oleh para pihak digunakan untuk penyusunan atau revisi RTRW, pengembangan komoditas, konsolidasi lahan, penelitian (disertasi, thesis) dll. Rincian peta dimaksud seperti tersaji pada Tabel 1 dan 2, sedangkan proporsinya tertera pada Gambar 7 dan 8 (BBSDL P 2019).

Khusus pemanfaatan peta pada tahun 2018 dan semester pertama 2019, telah dimanfaatkan 183 peta sumberdaya lahan, sebagian besar diantaranya untuk keperluan studi dan penelitian mahasiswa dan institusi lain (sekitar 50 %), sedangkan pemanfaatan lainnya adalah untuk rencana pengembangan pabrik gula dan usaha perkebunan lainnya, pengembangan usaha peternakan, Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW), dan legitimasi Tanah Obyek Reforma Agraria (TORA).

PEMBELAJARAN PROSES DISEMINASI TEKNOLOGI UNGGULAN

Upaya untuk memperpendek rantai penyampaian informasi melalui kajian spesifik lokasi seperti pada PTT padi di BPTP, belum seperti yang

diharapkan (Jamal *et al.* 2008), begitupun alur diseminasi hasil penelitian di lingkungan BBSDL P belum terprogram secara terpadu antar eselon satu terkait di Kementerian Pertanian, teori bahwa hasil penelitian menjadi salah satu materi utama penyuluhan Badan Sumberdaya Manusia terutama teknologi terapan hasil penelitian belum jalan sebagaimana mestinya. Perhatian Badan Litbang Pertanian yang besar terhadap diseminasi inovasi teknologi, belum sepenuhnya didukung oleh suatu system diseminasi yang memadai, antara lain belum terintegrasi dengan sistem penyuluhan institusi di luar Badan Litbang Pertanian. Aspek diseminasi informasi di luar aspek budidaya produksi perlu menjadi perhatian, seperti yang disinyalir oleh Sumardjo dalam Elian *et al.* (2014), bahwa stagnasi inovasi dan informasi pertanian yang selama ini telah terjadi, diharapkan dapat diperbaiki dengan TIK melalui akses terhadap informasi pasar, input produksi, tren konsumen, pemasaran, pengelolaan hama penyakit tanaman, peluang pasar, harga pasar dsb. Sedangkan Christian dan Subejo (2018), dari pengamatannya di Bantul menunjukkan bahwa petani menggunakan media informasi dan komunikasi untuk mendapatkan informasi teknik produksi dan pemasaran.

Pengalaman menunjukkan bahwa teknologi yang terkait langsung dengan program yang diinisiasi pemerintah, umumnya mendapat respon yang tinggi khususnya respon dari pihak swasta produsen material terkait, bahkan beberapa diantaranya langsung melakukan kerjasama lisensi dengan Balai Penelitian penghasil teknologi dimaksud, seperti program jarwo

Tabel 1. Jenis peta yang diminta pengguna

Table 1. Type of maps requested by user

No.	Jenis Peta	Tahun (Jumlah Peta)			Jumlah
		2015	2016	2017	
1.	Peta tanah Kabupaten/Kota	31	24	75	130
2.	Peta sebaran gambut	1	-	5	6
3.	Peta AEZ	2	-	3	5
4.	Peta kesesuaian lahan	1	-	11	12
5.	Peta <i>land system</i>	1	-	-	1
6.	Peta satuan lahan	-	1	-	1
7.	Atlas Peta Tanah	-	1	1	2
8.	Peta DAS	-	1	1	2
9.	Peta sawah tadah hujan	-	-	1	1
10.	Peta tanah kab/kota perbatasan	-	-	1	1
11.	RPL	-	-	1	1
Jumlah		36	27	99	162

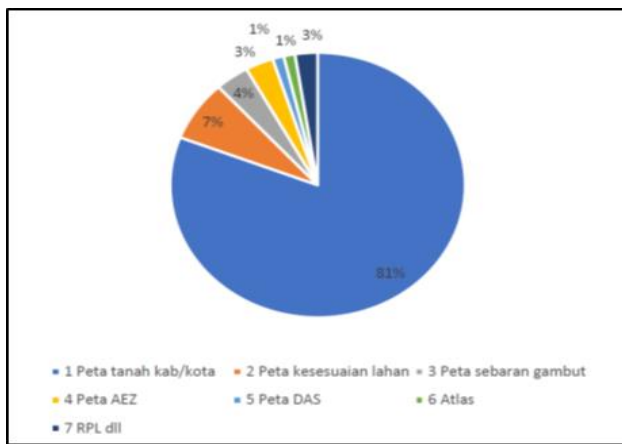
Sumber: Sekretariat BBSDL P (2017)

Tabel 2. Institusi yang meminta peta ke BBSDLP

Table 2. Institutions requesting maps from BBSDLP

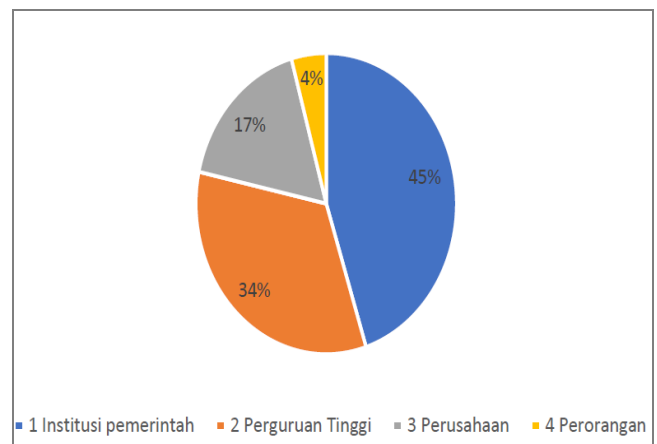
No.	Institusi	Tahun (Jumlah Peta)			Jumlah
		2015	2016	2017	
1.	Perusahaan (P.T)	6	6	16	28
2.	Institusi Pemerintah	18	9	46	73
3.	Perguruan Tinggi/Individu	12	12	30	54
4.	Perorangan	-	-	7	7
Jumlah		36	27	99	162

Sumber: Sekretariat BBSDLP (2017)



Gambar 7. Persentase pemanfaatan peta sumberdaya lahan pertanian

Figure 7. Percentage of agricultural land resource map utilization



Gambar 8. Persentase institusi pengguna peta sumberdaya lahan pertanian

Figure 8. Percentage of institutions using agricultural land resource map

super yang mengaplikasikan produk hasil penelitian.

Ke depan perlu dikembangkan mekanisme diseminasi yang terintegrasi dengan institusi di luar Badan Litbang Pertanian terutama Badan Sumberdaya Manusia, sehingga sejak perencanaan harus terintegrasi, teknologi apa yang diperlukan petani, dimana wilayah pengembangannya, selanjutnya teknologi hasil penelitian harus menjadi salah satu materi penyuluhan yang sudah dikemas dalam bahasa yang mudah dicerna oleh petani. Sedangkan untuk teknologi yang lebih hulu dan memerlukan investasi dana yang besar untuk pengembangan lebih lanjut serta sifatnya belum terapan perlu diarahkan untuk dapat bekerja sama dengan pihak swasta yang bidang usahanya relevan.

KESIMPULAN

Teknologi unggulan sumberdaya lahan, yang meliputi: teknologi mendukung pemanfaatan lahan

rawa, teknologi penurunan pencemaran lingkungan, teknologi untuk meningkatkan produktivitas usaha tani, teknologi antisipasi perubahan iklim dan peta sumberdaya lahan pertanian telah menunjukkan dampak awal (*initial impact*) yang positif. Dampak tersebut dalam bentuk penyebaran dan aplikasi teknologi tersebut oleh petani di wilayah *demfarm*, dan wilayah pengembangan.

Inovasi teknologi hasil pengembangan BBSDLP di beberapa wilayah telah menunjukkan nilai tambah atau nilai indeks efisiensi teknis dalam bentuk meningkatkan produktivitas hasil (sekitar 30%) atau mengoptimalkan penggunaan input produksi khususnya dalam penggunaan pupuk kimia N dan P.

Diperlukan kajian lebih lanjut, sehingga akan diketahui secara akurat berapa dampak potensial (*potential impact*) jika teknologi hasil penelitian tersebut diaplikasikan di lahan eksisting dan lahan pengembangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kepala Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian atas dukungan penyusunan makalah ini. Terima kasih disampaikan kepada para teknisi yang telah membantu mengumpulkan data yaitu: Sufiah Siti Nurjanah, dan Lia Amalia. Mamat H.S adalah sebagai “Kontributor Utama”, dan Sukarman sebagai “Kontributor Anggota”.

DAFTAR PUSTAKA

- Alwi M, Fahmi A. 2016. Decision support system (DSS) pemupukan padi lahan rawa. Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Pertanian Banjarbaru, 20 Juli 2016: 366-374.
- Anwar K, Noor M, Subagio H. 2016. Revitalisasi lahan rawa lebak berbasis “STARBAK”. Hlm. 128-152. *Dalam* Pasandaran E, Heriawan R, Syakir M (Eds.): Sumber Daya Lahan dan Air: Prospek Pengembangan dan Pengelolaan. IAARD Press. Jakarta.
- Ardiwinata AN, Sutriadi MT. 2020. Pengelolaan lahan tercemar pestisida. Hlm. 261-270. *Dalam* Sukarman, Las I, Noor M dan Tafakresnanto C (Eds.): Penegelolaan Lahan Berkarakter Khusus. IAARD Press. Jakarta (in Press).
- Asmarhansyah, Hasan R. 2018. Reklamasi lahan bekas tambang timah berpotensi sebagai lahan pertanian di Kepulauan Bangka Belitung. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 12(2): 73-82. doi: <http://dx.doi.org/10.21082/jsdl.v12n2.2018.73-82>
- Badan Litbang Pertanian. 2014. Road Map Penelitian dan Pengembangan Lahan Kering. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Badan Litbang Pertanian. 2018. Petani Pati Terapkan Panca Kelola Ramah Lingkungan (Ramli). *Info Teknologi*. 03 Juli 2018. <http://www.litbang.pertanian.go.id/info-aktual/3294/> Diakses tanggal 25 September 2020.
- Badan Litbang Pertanian. 2019. Filtrasi Air Jadi Mudah dan Sederhana dengan FIO. *Info Teknologi*. 07 Juni 2019. <http://www.litbang.pertanian.go.id/info-teknologi/3583/>. Diakses tanggal 25 September 2020.
- Badan Litbang Pertanian. 2020. Panca Kelola Lahan Rawa Untungkan Petani di Sumsel. *Info Aktual*. 21 Pebruari 2020. <http://www.litbang.pertanian.go.id/info-aktual/3870/>. Diakses 24 September 2020.
- Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian (BBSDLP). 2016. Laporan Akhir Demfarm Rehabilitasi dan Pengembangan Usaha Tani Integrasi Tanaman dan Ternak Pada Lahan Bekas Tambang. Laporan Teknis No: 05/LA/BBSDLP/2016. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. 213 Hlm.
- Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian (BBSDLP). 2019. Laporan PPID Pembantu Pelaksana Pelayanan Jasa BBSDLP.
- Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian (BBSDLP). 2020. Pupuk Hayati Solusi Pertanian Masa Depan. <http://bbsdpl.litbang.pertanian.go.id/ind/index.php/layanan-mainmenu-65/info-terkini/1029-pupuk-hayati-solusi-pertanian-masa-depan>. Diakses 25 September 2020.
- Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. 2020. Rekomendasi Budidaya Padi pada Berbagai Agroekosistem. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Badan Litbang Pertanian. 52 Hlm.
- Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi (Balitklimat). 2018. Memanfaatkan Informasi Prakiraan Iklim Untuk Pertanian. *Info Agroklimat dan Hidrologi*, Vol. 13 (2). April 2018
- Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi (Balitklimat). 2019. Pemanfaatan Output Balitklimat 2014-2018. Laporan Teknis Balai Penelitian Lingkungan Pertanian.
- Balai Penelitian Lingkungan Pertanian (Balingt). 2019. Pemanfaatan Output 2 Tahun Terakhir. Laporan Teknis Balai Penelitian Lingkungan Pertanian.
- Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa (Balittra). 2019a. Teknologi Hasil Penelitian Balittra, yang telah dimanfaatkan 2018-2019. Laporan Teknis Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa.
- Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa (Balittra). 2019b. Sosialisasi Teknologi Panca Kelola. <http://balittra.litbang.pertanian.go.id/index.php/berita/info-aktual/2333-sosialisasi-teknologi-panca-kelola>. Diakses 24 September 2020.
- Balai Penelitian Tanah (Balittanah). 2019. Inventarisasi Manfaat Hasil Penelitian Balittanah. Laporan Teknis.
- Balai Penelitian Tanah (Balittanah). 2020. Berbagi ilmu pupuk hayati dari pakarnya. <http://balittanah.litbang.pertanian.go.id/ind/index.php/berita/1593-berbagi-ilmu-pupuk-hayati-dari-pakarnya>. Diakses 26 September 2020.
- BPS (Biro Pusat Statistik). 1993. Statistik Indonesia. Badan Pusat Statistik. Jakarta.

- BPS (Badan Pusat Statistik). 2003. Statistik Indonesia. Badan Pusat Statistik. Jakarta.
- BPS (Badan Pusat Statistik). 2020. Kajian Konsumsi Bahan Pokok Tahun 2017.
- Bungin B. 2006. Sosiologi Komunikasi : Teori, Paradigma, dan Diskursus Teknologi Komunikasi. Kencana Prenada Media Group.
- Christian AI, Subejo. 2018. Akses, fungsi dan pola penggunaan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) oleh petani pada kawasan pertanian komersial di Bantul. *Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian*, 11(2): 25-30.
- Dalimunthe CI, Soekarno BPW, Munif A, Surono. 2019. Seleksi dan uji potensi cendawan *Dark Septate Endophyte* sebagai agensia hayati penyakit jamur akar putih (*Rigidoporus microporus*) pada tanaman karet. *Jurnal Penelitian Karet*, 37(1): 11 – 20. doi : <https://doi.org/10.22302/ppk.jpk.v37i1.624>
- Elian N, Lubis DP, Rangkuti PA. 2014. Penggunaan internet dan pemanfaatan informasi pertanian oleh penyuluh pertanian di Kabupaten Bogor Wilayah Barat. *Jurnal Komunikasi Pembangunan*, 12 (2): 104-109.
- Estiningtyas W, Susanti S, Surmaini E, Suciandini, Apriyana Y, Pramudia A, Sarfina Y, Nengsumoyo C. 2018. Peta kerentanan usahatani pangan dan risiko iklim. *Buletin Hasil Penelitian Agroklimat dan Hidrologi*, Vol 15: 25-31. Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi.
- Fatchiya A, Amanah S, Kusumastuti YI. 2016. Penerapan inovasi teknologi pertanian dan hubungannya dengan ketahanan pangan rumah tangga petani. *Jurnal Penyuluhan* edisi September, 12(2): 190-197.
- Heryani N, Sosiawan H, Setyono HA 2014. Penilaian kesesuaian dam parit bertingkat untukantisipasi kekeringan: studi kasus di Kecamatan Cenrana, Kabupaten Maros Propinsi Sulawesi Selatan. *Jurnal Sumber Daya Air*, 10 (2): 113-124.
- Jamal E, Mardiharini M, Sarwani M. 2008. Proses Diseminasi Pengelolaan Tanaman dan Sumberdaya Terpadu (PTT) Padi: Suatu Pembejarian dan Perspektif ke Depan. *Jurnal Analisis Kebijakan*, 3(3): 272-285.
- Kementerian Pertanian (Kementan). 2018. Mengenal Polder Mini, Sistem Pengelolaan Air Lahan Rawa di HPS 2018. <https://www.pertanian.go.id/home/index.php?show=news&act=view&id=343>. Diakses tanggal 25 September 2020.
- Mukhlis. 2010. Formulasi Pupuk Mikroba “BIOTARA” untuk Meningkatkan Produksi Padi dan Efisiensi Pemupukan di Lahan Sulfat Masam. Laporan Hasil Penelitian Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa (Balittra), Banjarbaru.
- Mulyaningsih ES, Sukiman H, Ermayanti TM, Lekatompessy S, Indrayani S, Seri AR, Adi BM. 2015. Respon padi gogo terhadap pupuk hayati di lahan kering Kabupaten Konawe Selatan, Sulawesi Tenggara. *Jurnal Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian*, 18(3): 251-261.
- Mamat H.S, Noor M. 2019. Keberlanjutan inovasi teknologi lahan rawa pasang surut: prospek, kendala dan implementasi. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 12(2): 117-131.
- Mamat H.S, Las I, Sukarman, Mulyani A, Nurjanah S, Amalia L. 2020. Laporan Akhir Analisis Manfaat dan Dampak Inovasi Teknologi Sumberdaya Lahan Pertanian. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Mulyani A, Hidayat A. 2009. Peningkatan kapasitas produksi tanaman pada lahan kering. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 3(2): 73-84.
- Mulyani A, Nursyamsi D, Las I. 2014. Percepatan pengembangan pertanian lahan kering iklim kering di Nusa Tenggara. *Pengembangan Inovasi Pertanian*, 7(4): 187-198.
- Mulyani A, Kuncoro D, Nursyamsi D, Agus F. 2016. Analisis konversi lahan sawah: penggunaan data spasial resolusi tinggi memperlihatkan laju konversi yang mengkhawatirkan. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 40(2): 121-133.
- Noor M, Sutrisno N, Sosiawan H. 2019. Manajemen air di lahan rawa berbasis mini-polder dalam mendukung pengembangan pertanian modern. Hlm. 235- 267. *Dalam* Djufry F, Pasandaran E, Irawan B, Ariani M (Eds.): *Manajemen Sumber Daya Alam dan Produksi Mendukung Pertanian Modern*. IPB Press. Bogor.
- Nurida NL, Rachman A, Sutono S. 2015. Biochar Pembena Tanah yang Potensial. IAARD Press, Badan Litbang Pertanian. 49 Hlm.
- Nurita, Saleh M. 2016. Pengujian formulasi biofertilizer pada tanaman padi di lahan pasang surut. *Prosiding Seminar Nasional Lahan Basah Tahun 2016*, Jilid 3: 916-920.
- Pratiwi PR, Santoso SI, Roessali W. 2018. Tingkat adopsi teknologi true shallot seed di Kecamatan Klambu, Kabupaten Grobogan. *Journal of Agribusiness and Rural Development Research*, 4(1): 9-18.

- Purnomo E, Pangarsa N, Andri KB, Saeri M. 2015. Efektivitas metode penyuluhan dalam percepatan transfer teknologi padi di Jawa. *Jurnal Inovasi dan Teknologi Pembelajaran*, 1(2): 192-204.
- Rachman A, Dariah A dan Sutono S. 2018. *Pengelolaan Sawah Salin Berkadar Garam Tinggi*. IAARD Press, Jakarta. 61 Hlm.
- Rakhma RNS. 2019. Penerapan teknologi ramah lingkungan di sektor pertanian untuk peningkatan produktivitas. *Info Agroklimat dan Hidrologi*. Volume 14 Nomor 4, Agustus 2019.
- Ristek Dikti. 2017. *Panduan Diseminasi Produk Teknologi ke Masyarakat*. Direktorat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat. 22 Hlm.
- Santos SGD, Silva PRAD, Garcia AC, Zili JE, Berbara JE. 2016. Dark septate endophyte decreases stress on rice plants. *Brazilian J. of Microbiol.*, 48(2), 333–341. doi: 10.1016/j.bjm.2016.09.018
- Sekretariat BBSDLP. 2017. *Daftar Institusi yang Meminta Peta BBSDLP selama 2015 – 2017*. Dokumen BBSDLP.
- Setiawati MR, Suryatmana P, Hudaya R. 2009. Inokulasi blue-green algae untuk mengurangi dosis pupuk nitrogen dan meningkatkan pertumbuhan padi sawah (*Oryza sativa* L.) pada Inceptisol. *Jurnal Agrikultura*, 20(2): 146-152.
- Siregar A.F, Yusuf W.A. 2020. Ameliorasi berbasis unsur hara silika di lahan rawa. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 14(1): 51-61. doi: <http://dx.doi.org/10.21082/jsdl.v14n1.2020.37-47>
- Smemo K.A, Yavitt J.B. 2010. Anaerobic oxidation of methane: an underappreciated aspect of methane cycling in peatland ecosystems?, *Biogeosciences*, 8: 779-793.
- Sumarno. 2014. “Benarkah Negara Indonesia Masih Subur Makmur?”. *Meretas Jalan Panjang* hal 116-120. Himpunan Alumni MLS/SPMT/SPMA/SPP SPMA Negeri Bogor. Dewi Sri.
- Sumartini. 2016. Biopestisida untuk pengendalian hama dan penyakit aneka kacang dan umbi. *Iptek Tanaman Pangan*, 11(2): 159-165.
- Surono. 2017. The role of dark septate endophytic fungus, *Phialocephala fortinii*, on promoting *Asparagus officinalis* growth under various stressed conditions, (*Doctoral Thesis*), Tokyo University of Agriculture and Technology, Japan.
- Surono, Narisawa K. 2018. The inhibitory role of dark septate endophytic fungus *Phialocephala fortinii* against *Fusarium* disease on the *Asparagus officinalis* growth in organic source conditions. *Biological Control*, 121: 159-167. doi: 10.1016/j.biocontrol.2018.02.017
- Sukarman, Bachri S, Wiganda S. 1998. Karakteristik tanah salin dan kualitas air irigasi di dataran Mbay, Flores, Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Tanah dan Iklim*, No. 16: 10-20.
- Sukarman, Mulyani A, Purwanto S. 2018. Modifikasi metode evaluasi kesesuaian lahan berorientasi perubahan iklim. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 12(1): 1-11. doi: <http://dx.doi.org/10.21082/jsdl.v12n1.2018.1-11>
- Sutrisno N, Hamdani A. 2019. Optimalisasi pemanfaatan sumber daya air untuk meningkatkan produksi pertanian. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 13(2): 73-88. doi: <http://dx.doi.org/10.21082/jsdl.v13n2.2019.73-88>
- Syahyuti. 2013. Tiga Puluh Inovasi Kelembagaan, Adopsi Inovasi Badan Litbang Pertanian. *Catatan Perjalanan 40 Tahun Badan Litbang Pertanian*.
- Tim Katam Terpadu. 2020. *Sistem Informasi Kalender Tanam Terpadu Versi 3.1*. <http://balitklimat.litbang.pertanian.go.id/wp-content/uploads/2020/06/PANDUAN-SI-KATAM-v3.1-1.pdf>. Diakses 26 September 2020.
- Topp E, Patey E. 1997. Soils as sources and sinks for atmospheric methane. *Can. J. Soil Sci*, 77: 167–178.
- Wassmann R, Papen H, Rennenberg H. 1993. Methane emission from rice paddies and possible mitigation strategies. *Chemosphere* 26: 201-217.
- Winoto J. 2005. Kebijakan pengendalian alih fungsi lahan pertanian dan implementasinya. Makalah Seminar Penanganan Konversi Lahan dan Pencapaian Pertanian Abadi, 13 Desember 2005. Kerjasama Kantor Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian dengan Pusat Studi Pembangunan IPB.