

Teknologi Pengelolaan Lahan Rawa untuk Tanaman Pangan dan Hortikultura dalam Konteks Adaptasi Terhadap Perubahan Iklim

Swamp Land Management Technologies for Food and Horticultural Crops in the Context of Adaptation to Climate Change

Eni Maftu'ah, Wahida Annisa, Muhammad Noor

Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa, Jl. Kebun Karet, Loktabat Utara, Banjarbaru 70712. Email: eni_balittra@yahoo.com

Diterima 10 Agustus 2016; Direview 31 Agustus 2016; Disetujui dimuat 18 Desember 2016

Abstrak. Perubahan iklim di lahan rawa memberikan dampak berbeda tergantung tipologi lahan. Dampak perubahan iklim di lahan rawa mempengaruhi luas areal tanam, proses biofisik pada tanah dan tanaman, dan meningkatkan serangan organisme pengganggu tanaman (OPT). Pada lahan rawa lebak tengahan dan lahan rawa lebak dalam, *El Niño* menyebabkan permukaan air menurun sehingga mengurangi areal yang terendam dan meningkatkan luas areal tanam. Pengaruh *El-Niño* di lahan gambut dapat meningkatkan risiko kebakaran lahan selain meningkatkan emisi karbon dari dekomposisi gambut, sedangkan di lahan sulfat masam dapat meningkatkan oksidasi pirit dan salinitas. Pada tahun *La Niña*, terjadi penurunan luas areal tanam pada lahan rawa lebak, sedangkan pada lahan pasang surut terjadi perubahan pola tanam. Kekhasan ekosistem rawa memerlukan penanganan khusus agar potensi yang ada dapat dimanfaatkan secara optimal. Pengelolaan lahan rawa harus memperhatikan aspek adaptasi agar terwujud pertanian berkelanjutan. Jangka menengah arah pengembangan teknologi pertanian di lahan rawa untuk meningkatkan kemampuan sektor pertanian dalam beradaptasi terhadap perubahan iklim antara lain merakit, mendiseminasi dan menerapkan teknologi adaptasi tepat guna; meningkatkan kinerja penelitian dan pengembangan di bidang adaptasi perubahan iklim. Teknologi inovatif untuk optimalisasi lahan rawa dalam adaptasi terhadap perubahan iklim antara lain; pemanfaatan kalender tanam, optimalisasi pemanfaatan lahan melalui sistem surjan, pengaturan tata air, penggunaan varietas unggul spesifik lahan rawa, ameliorasi dan pemupukan

Kata kunci: Pupuk / Teknologi Inovatif / Adaptasi / Perubahan Iklim / Lahan Rawa / Pirit / El Niño / La Niña

Abstract. The impacts of climate change on wetlands are different depending on the land typology. Climate change in wetlands affect the planting area, biophysical processes, soil properties, plant pests and diseases and greenhouse gases (GHG) emissions. In the swampy wetlands, *El-Niño* decreases inundation, thereby increases the areas that can be cultivated, especially for lowland rice. *El Niño* in peatland could increase carbon emissions both due to peat decomposition and to fires, whereas in acid sulfate soil it can increase oxidation of pyrite. During *La Niña* a decline in area planted occurs in swampy wetlands, whereas in tidal land it causes a change cropping patterns. The specificity of swampland requires special handling technique so that existing potentials can be optimally utilized. Management of wetlands should take into account the adaptation aspects for the realization of sustainable agriculture in wetlands. The medium term strategies of adaptive agricultural technology on wetlands to climate change include: development, dissemination and implementation of appropriate adaptive technologies; and enhancing research and development of adaptive technologies. Innovative technologies for the optimization of wetlands to adapt to climate change, among others; utilization of cropping calendar, optimization of land use through *surjan* system, water management, the use of swampland-specific improved varieties, soil amelioration and fertilization.

Keywords: Innovative Technology / Adaptation / Climate Change / Wetlands / Pyrite / El Niño / La Niña

PENDAHULUAN

Perubahan iklim global saat ini sedang terjadi dan telah mempengaruhi berbagai aspek kehidupan manusia. *El Niño* dan/atau *La Niña* semakin sering terjadi dengan periode semakin pendek, semula 5 tahun saat ini menjadi 2-3 tahun. Dampak perubahan iklim untuk sektor pertanian sangat terasa

diantaranya ditunjukkan oleh peningkatan intensitas dan frekuensi kejadian iklim ekstrem dan serangan organisme pengganggu tanaman (OPT) (Haryono 2013), salinitas akibat naiknya permukaan air laut (Faqih dan Boer 2013), dan meningkatnya emisi CO₂ akibat kebakaran lahan dan drainase berlebihan (*over drainage*) terutama pada lahan gambut (Dariah *et al.* 2013). Kondisi tersebut mempengaruhi ketersediaan air

sehingga berpengaruh terhadap produksi, luasan panen dan produktivitas lahan rawa (Khodijah 2015).

Lahan rawa saat ini luasnya sekitar 33,4 juta ha, sekitar 9-14 juta ha diantaranya sesuai untuk pertanian, namun baru 5,27 juta ha yang telah dimanfaatkan (Nursyamsi *et al.* 2014). Lahan rawa terdiri atas lahan rawa pasang surut (20,1 juta ha) dan lahan rawa lebak (13,3 juta ha) yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai penghasil pangan dan komoditas lainnya di Indonesia. Pengaruh perubahan iklim di lahan rawa berbeda tergantung tipologi lahan. Sebagian lahan rawa terutama lahan lebak tengahan menuai dampak positif dengan adanya perubahan iklim. Lahan rawa lebak tengahan pada kondisi normal tergenang air, sehingga sebagian wilayahnya tidak dapat dimanfaatkan untuk tanaman pangan. Namun dengan adanya *El Niño*, genangan air di lahan rawa lebak semakin surut sehingga areal yang dapat ditanami bertambah luasnya.

Dampak negatif perubahan iklim di lahan rawa ternyata lebih besar dibandingkan dampak positifnya. Lahan rawa sangat ringkih (*fragile*) sehingga sangat rentan terhadap perubahan iklim. Beberapa masalah dalam optimalisasi pemanfaatan lahan rawa dalam kaitannya dengan perubahan iklim antara lain pada lahan rawa lebak fluktuasi air yang sulit diprediksi yang menyebabkan kekeringan dan kebanjiran. Pada lahan rawa sulfat masam dengan adanya *El Niño* terjadi peningkatan oksidasi pirit sehingga pada saat tergenang dapat menyebabkan keracunan sulfat dan besi, sedangkan pada kondisi kering terjadi keracunan Al, meningkatnya salinitas, serta serangan hama dan penyakit. Pada lahan gambut, kondisi *El Niño* menyebabkan kekeringan sehingga tanah dapat mengalami *irreversible drying* yang dapat meningkatkan kerentanan terhadap kebakaran, serta meningkatkan emisi karbon (Dariah *et al.* 2013). Sementara itu, saat *La Niña* pada lahan rawa lebak menyebabkan areal yang tergenang lebih luas sehingga luas areal yang dapat ditanami tanaman pangan semakin sempit, sedangkan pada lahan pasang surut terjadi perubahan pola tanam. Pada kondisi *La Nina*, luas areal tanam menurun, baik pada lebak tengahan maupun dangkal (Nursyamsi *et al.* 2014).

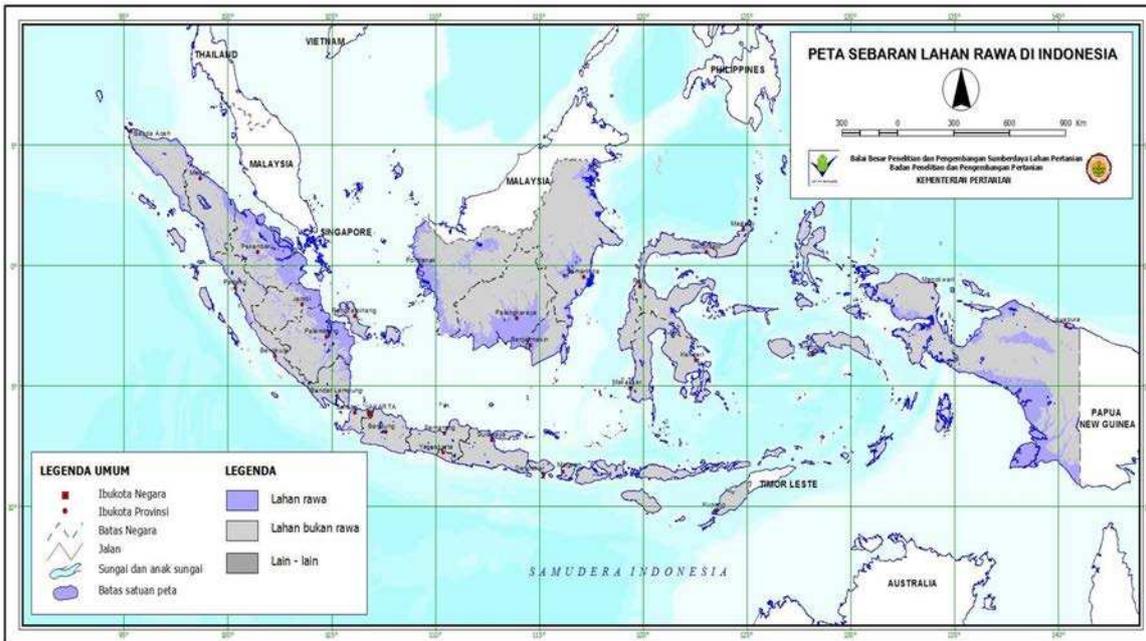
Adaptasi perubahan iklim merupakan tindakan yang mengacu pada penyesuaian terhadap pengaruh yang timbul akibat kondisi iklim aktual yang diperkirakan akan terjadi agar mampu bertahan dan jika memungkinkan dapat memanfaatkan kesempatan untuk berkembang (Sumaryanto 2013).

Tindakan adaptasi mengarah pada usaha meminimalisasi resiko akibat iklim, untuk meningkatkan resiliensi dan mengurangi kerentanan terhadap kondisi iklim yang tidak kondusif (IPCC 2001). Pengelolaan lahan rawa sudah sepatutnya memperhatikan aspek adaptasi sekaligus mitigasi agar terwujud pertanian berkelanjutan. Teknologi inovatif untuk optimalisasi lahan rawa dalam adaptasi terhadap perubahan iklim antara lain; pemanfaatan kalender tanam, optimalisasi pemanfaatan lahan, pengaturan tata air, ameliorasi dan pengendalian hama dan penyakit tanaman terpadu. Tulisan ini menguraikan tentang potensi lahan rawa sebagai lumbung pangan, dampak perubahan iklim di lahan rawa, arah dan strategi menghadapi perubahan iklim serta teknologi inovatif yang adaptif menghadapi perubahan iklim di lahan rawa.

POTENSI LAHAN RAWA SEBAGAI LUMBUNG PANGAN

Kebutuhan pangan di Indonesia semakin meningkat sesuai dengan peningkatan jumlah penduduk. Diperkirakan jumlah penduduk pada tahun 2015 mencapai 255 juta jiwa. Dengan asumsi kebutuhan beras 135 kg kapita⁻¹ tahun⁻¹ maka diperlukan ketersediaan beras sebanyak 38,5 juta ton tahun⁻¹ (Haryono 2013). Pemerintah berkomitmen untuk mewujudkan kedaulatan pangan pada tahun 2019. Pada tahun 2015 target produksi padi ditetapkan 73 juta ton GKG, jagung 20 juta ton, dan kedelai 1,2 juta ton (Kurniawan 2015). Strategi utama untuk mencapai target tersebut dapat ditempuh melalui peningkatan produktivitas dan perluasan area tanam.

Indonesia mempunyai lahan rawa sekitar 33,43 juta ha, terdiri dari lahan rawa lebak 13,3 juta ha dan 20,1 juta ha lahan pasang surut yang tersebar di Sumatera, Kalimantan, Papua, dan Sulawesi (Gambar 1) (Nugroho *et al.* 1992, Widjaja-Adhi *et al.* 1992). Berdasarkan kompilasi beberapa peta rawa (BBSDLP 2014), luas lahan rawa di Indonesia sebesar 34.926.551 ha yang terdiri atas lahan gambut dan mineral (Tabel 1). Luas lahan rawa yang sesuai untuk pertanian sekitar 10,87 juta hektar terdiri atas lahan rawa lebak berkisar 2,34 juta ha dan pasang surut berkisar 8,54 juta ha (BBSDLP 2014).



Sumber: BBSDLP (2014)

Gambar 1. Sebaran lahan rawa di Indonesia
 Figure 1. Distribution of swamp land in Indonesia

Tabel 1. Luas lahan rawa di Indonesia
 Table 1. Swampland area in Indonesia

Pulau besar	Tanah mineral	Tanah gambut	Total luas
 ha		
Sumatera	6.490.188	6.436.649	12.926.837
Jawa	896.122		896.122
Bali dan Nusa Tenggara	-	-	-
Kalimantan	5.245.494	4.778.004	10.023.499
Sulawesi	1.024.249	23.844	1.048.093
Maluku	162.555		162.555
Papua	6.178.524	3.690.921	9.869.445
Indonesia	19.997.133	14.963.601	34.926.551

Sumber: BBSDLP (2014)

Berdasarkan data Kementerian Pertanian (2009) kontribusi lahan rawa terhadap produksi padi nasional masih rendah, yaitu sekitar 1 - 1,5% dari 62,56 juta ton gabah kering panen atau sekitar sekitar 600.000 – 700.000 ton per tahun. Hal ini disebabkan karena luas lahan rawa yang dimanfaatkan untuk pertanian masih sangat kecil serta produktivitas padi di lahan rawa masih rendah (< 4 t ha⁻¹). Selain rendahnya produktivitas, rendahnya produksi pertanian di lahan rawa juga disebabkan oleh rendahnya intensitas pertanaman (IP). Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian mencatat hanya 10 persen dari areal

pertanaman yang ditanami dua kali setahun (IP 200). Sisanya sekitar 90% hanya ditanami satu kali setahun (IP 100) karena umumnya petani masih menggunakan varietas padi lokal yang berumur panjang (8-11 bulan). Melihat kondisi dan realitas yang ada, program ekstensifikasi lahan maupun intensifikasi untuk pertanian di lahan rawa perlu digalakkan.

Lahan rawa pasang surut maupun lebak sangat berpotensi sebagai lumbung pangan nasional. Kawasan rawa pasang surut dapat menjadi sumber pertumbuhan ekonomi baru produksi komoditas pertanian, karena mempunyai beberapa keunggulan antara lain: ketersediaan air yang melimpah, topografi relatif datar, akses ke daerah pengembangan dapat melalui jalur darat dan jalur air sehingga memudahkan jalur distribusi, pemilikan lahan yang relatif luas dan ideal bagi pengembangan usaha tani secara mekanis, dan waktu panen saat *off season* (di luar musim) sehingga dapat mensubstitusi ketersediaan pangan di Pulau Jawa saat tidak ada panen (Noor 2001).

Optimalisasi pemanfaatan lahan rawa perlu dilakukan untuk mewujudkan rawa sebagai lumbung pangan. Namun, dalam upaya optimalisasi pemanfaatan lahan rawa seringkali dihadapkan pada berbagai masalah antara lain; kondisi infrastruktur masih minim, biofisik lahan umumnya tidak/kurang subur, sosial ekonomi masyarakat, serta dampak lingkungan. Masalah biofisik lahan yang sering muncul pada lahan

lebak adalah terjadinya kekeringan pada musim kemarau dan banjir pada musim penghujan. Kondisi ini mengakibatkan semakin sempitnya masa tanam dan jenis tanaman yang diusahakan. Permasalahan di lahan pasang surut lebih berhubungan dengan kesuburan tanah seperti kandungan hara yang rendah, kemasaman tanah dan kandungan unsur meracun yang tinggi. Pada lahan gambut, selain masalah kesuburan tanah, masalah lingkungan juga patut menjadi perhatian antara lain: emisi GRK (CO₂, CH₄, N₂O), dan kebakaran lahan. Sehubungan dengan hal tersebut diperlukan teknologi inovasi untuk menjadikan lahan rawa sebagai lumbung pangan nasional yang adaptif terhadap perubahan iklim dan ramah lingkungan.

Pengembangan lahan rawa untuk pertanian yang intensif sangat tergantung pada empat aspek yaitu; (1) sumber daya lahan, (2) infrastruktur, (3) sumber daya manusia, (4) sosial dan ekonomi petani. Jika keempat kondisi tersebut kondusif maka wilayah akan dapat dikembangkan. Lahan rawa merupakan lahan *fragile* (rapuh), sehingga perlu penanganan khusus, terutama pengelolaan air, penataan lahan, pembenahan tanah, dan teknologi budidaya spesifik lokasi. Keterbatasan jumlah sumberdaya manusia (petani) di lahan rawa, memerlukan dukungan alsintan untuk optimalisasi lahan.

Lahan rawa baik pasang surut maupun lebak dapat dimanfaatkan untuk pertanian intensif. Hampir semua tanaman pangan maupun hortikultura dapat tumbuh dengan baik pada lahan rawa pasang surut dan lebak, namun perlu disesuaikan dengan zona tipologi lahan dan tipe luapan airnya agar tumbuh dengan baik. Teknologi penataan lahan dan air dapat meningkatkan optimalisasi pemanfaatan lahan rawa. Beberapa tanaman pangan yang telah teruji dapat tumbuh dengan baik antara lain: padi, jagung, kedelai, dan ubi, sedangkan hortikultura jeruk, semangka, melon, tomat, cabai dan bawang. Tanaman padi dapat ditanam pada lahan pasang surut tipe A, B, dan C, lebak dangkal dan tengahan, sedangkan tanaman palawija dan hortikultura dapat ditanam pada lahan C dan D.

PERKEMBANGAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN LAHAN RAWA TERKAIT PERUBAHAN IKLIM

Perubahan iklim adalah berubahnya kondisi fisik atmosfer bumi antara lain suhu dan distribusi curah hujan yang membawa dampak luas terhadap berbagai

sektor kehidupan manusia (KLH 2007). Perubahan iklim merujuk pada variasi rata-rata kondisi iklim suatu tempat atau pada variabilitas yang nyata secara statistik untuk waktu yang panjang (IPCC 2007). Perubahan iklim dapat diakibatkan langsung atau tidak langsung oleh aktivitas manusia, yang dapat menyebabkan perubahan komposisi atmosfer secara global, dan juga variabilitas iklim secara alamiah pada kurun waktu yang dapat dibandingkan.

Pemanfaatan lahan rawa untuk pertanian telah lama dilakukan, baik oleh masyarakat setempat maupun pemerintah melalui program pembukaan lahan/reklamasi lahan rawa. Lahan rawa merupakan salah satu ekosistem yang sangat dipengaruhi oleh iklim global. Perubahan dan keragaman iklim menyebabkan meningkatnya suhu rata-rata, sehingga terjadi pergeseran siklus hidrologi dan berakibat semakin lamanya musim kemarau tetapi diikuti oleh semakin pendeknya musim hujan dan lebih intensif sehingga akan berdampak pada lingkungan dan kegiatan pertanian.

Kesalahan dalam pengelolaan lahan terutama lahan rawa gambut menyebabkan terjadinya perubahan fungsi lahan dan peningkatan emisi GRK. Lahan rawa gambut dalam keadaan alami berfungsi sebagai gudang pemendaman (*sink*) karbon (C). Lahan gambut Indonesia menyimpan sekitar 46 giga ton (Gt) atau sekitar 8 sampai 14% dari seluruh C yang ada di lahan gambut dunia (Murdiyarto *et al.* 2004). Menurut Wahyunto *et al.* (2003, 2004, dan 2007) cadangan karbon di lahan gambut Indonesia sekitar 35 Gt, karena lahan gambut di Papua lebih tipis. Kesalahan dalam pengelolaan lahan gambut akan menyebabkan lahan gambut semakin cepat terdekomposisi sehingga menjadi sumber utama emisi C, subsidi dipercepat serta umur pakai gambut semakin berkurang. Beberapa faktor utama yang menyebabkan lahan gambut menjadi sumber emisi C adalah adanya pembalakan (*illegal logging*), perubahan tata guna hutan/lahan, konversi lahan menjadi lahan pertanian atau perkebunan, drainase yang mengakibatkan penurunan muka air tanah, pengeringan dan kebakaran hutan dan lahan (Page *et al.* 2002, Usup *et al.* 2004).

Perubahan iklim juga dipicu adanya kebakaran lahan, termasuk kebakaran lahan gambut. Kebakaran lahan gambut selama kurun waktu 1997-2006 sekitar 1.400 juta ton tahun⁻¹ atau sekitar 90% emisi yang terjadi di Indonesia (Wibowo 2009). Keadaan biofisik lahan yang mempengaruhi antara lain: jenis gambut, tingkat kematangan, posisi lahan (tanggul, kaki kubah, kubah), sistem kanalisasi dan penggunaan lahan.

Sektor pertanian adalah sektor yang paling terancam, menderita dan rentan (*vulnerable*) terhadap perubahan iklim. Dampak perubahan iklim terhadap sektor pertanian di lahan rawa secara langsung antara lain: terjadinya degradasi dan penciptaan sumberdaya lahan, dinamika dan anomali ketersediaan air, dan kerusakan sumberdaya genetik atau biodiversitas, serta penurunan produktivitas lahan. Kejadian iklim ekstrem menyebabkan kegagalan pertumbuhan dan panen yang berujung pada penurunan produktivitas, kerusakan sumberdaya lahan pertanian, peningkatan frekuensi, luas dan bobot/intensitas gangguan organisme (Las *et al.* 2008). Dampak perubahan iklim saat ini dapat dipantau secara cepat menggunakan citra satelit antara lain suhu udara, curah hujan, kenaikan air laut serta kebakaran lahan (Nugroho dan Wahyunto 2014).

Fenomena perubahan iklim sudah dirasakan di beberapa wilayah di Indonesia. Kondisi terlihat dari musim kemarau yang semakin panjang dan musim penghujan dengan intensitas yang lebih tinggi, namun dalam waktu yang lebih singkat serta bergeser dari waktu yang biasanya (Naylor *et al.* 2007). Kondisi tersebut menyebabkan petani tidak bisa menentukan waktu tanam secara tepat dan seringkali terjadi kegagalan dalam kegiatan budidaya tanaman. Penurunan produktivitas akan berpengaruh terhadap produksi pangan nasional yang pada akhirnya mengganggu sistem ketahanan pangan.

Adaptasi sangat diperlukan untuk menghadapi perubahan iklim. Upaya adaptasi diarahkan untuk meningkatkan selang toleransi (*coping range*) sektor pertanian terhadap perubahan iklim. Adaptasi terhadap perubahan iklim mencakup cara-cara menghadapi perubahan iklim dengan melakukan penyesuaian baik dalam aspek teknologi, ekologi, sistem sosial dan ekonomi. Adaptasi terhadap perubahan iklim melibatkan individu, kelompok dan pemerintah/ publik untuk melakukan tindakan/perlindungan terhadap masyarakat (Adger *et al.* 2005). Teknologi adaptasi perubahan iklim untuk tanaman pangan dan hortikultura meliputi: penyesuaian waktu tanam, penggunaan varietas unggul tahan kekeringan, rendaman, dan salinitas, serta teknologi pengelolaan air (Surmaini *et al.* 2011). Upaya mengatasi dampak perubahan iklim untuk pertanian di lahan rawa antara lain melalui: (1) peningkatan produktivitas pertanian di lahan rawa secara berkelanjutan, (2) penerapan kalender tanam rawa, (3) pengaturan air, (4), penerapan asuransi pertanian untuk antisipasi/pengamanan sosial, (5) pengembangan teknologi peringatan dini (*early warning system*), (6)

peningkatan atau penguatan partisipasi petani secara aktif dalam penanganan dampak perubahan iklim, (7) peningkatan jejaring kerjasama regional/internasional.

ARAH DAN STRATEGI ADAPTASI MENGHADAPI PERUBAHAN IKLIM DI LAHAN RAWA

Perubahan iklim telah menjadi permasalahan bersama antar komunitas, antar instansi, antar negara untuk mendapat penanganan serius karena begitu banyak aspek kehidupan yang terkena dampaknya. Sektor pertanian merupakan salah satu sektor yang dipengaruhi oleh perubahan iklim yang menyebabkan ketidakpastian (*unpredictable*) produksi. Hasil penelitian Boer dan Subbiah (2005) melaporkan bahwa sejak tahun 1844 hingga 2009 masing-masing telah terjadi 47 dan 38 kali peristiwa *El Niño* dan *La Niña* yang menimbulkan kekeringan dan banjir serta gangguan terhadap produksi padi nasional.

Adaptasi terhadap perubahan iklim pada sektor pertanian berkaitan pada pola tanam, waktu tanam, produksi, dan kualitas hasil. Diperlukan upaya adaptasi yang relatif cepat dan mampu mengurangi pengaruh negatif dari perubahan iklim. Upaya adaptasi yang dapat dilakukan berupa pengelolaan sumberdaya tanah dan air secara optimal dan berkelanjutan, pengelolaan lahan dan tanaman yang disesuaikan dengan kondisi iklim setempat, penggunaan sarana produksi pertanian yang efektif dan efisien, dan penerapan teknologi pertanian tepat guna yang adaptif.

Arah pengembangan teknologi pertanian di lahan rawa dalam menghadapi perubahan iklim antara lain:

1. Meningkatkan pemahaman petani dan pihak terkait dalam mengantisipasi perubahan iklim.
2. Meningkatkan kemampuan sektor pertanian untuk beradaptasi dengan perubahan iklim, termasuk di dalamnya membangun sistem asuransi perubahan iklim.
3. Merakit dan menerapkan teknologi tepat guna untuk adaptasi dan mitigasi emisi GRK.
4. Meningkatkan kinerja penelitian dan pengembangan di bidang adaptasi dan mitigasi perubahan iklim.

Untuk mencapai arah pengembangan lahan rawa yang adaptif terhadap perubahan iklim diperlukan strategi adaptasi baik aspek teknis maupun kebijakan. Strategi adaptasi dalam menghadapi

perubahan iklim di lahan rawa diharapkan dapat meningkatkan ketahanan (*resilience*) dalam budidaya tanaman dan optimalisasi pemanfaatan lahan rawa. Langkah atau program yang dapat dilakukan antara lain: (a) penyeimbangan ketersediaan dan kecukupan hara (makro dan mikro), udara, dan lengas tanah untuk tanaman, (b) perbaikan sifat fisik tanah dan ketersediaan air tanah, (c) pemilihan tanaman yang adaptif, termasuk varietas yang tahan berbagai cekaman iklim ekstrem, dan (d) penentuan waktu tanam yang tepat,

Kegiatan adaptasi sekaligus juga mitigasi merupakan pilihan paling baik. Langkah atau program untuk peningkatan hasil tanaman sekaligus juga menurunkan emisi GRK dapat dilakukan antara lain: (a) pengurangan/penurunan kedalaman muka air tanah (*ground water table*); (b) penerapan irigasi terputus (*intermittent irrigation*); (c) penggunaan amelioran; (d) penghematan penggunaan pupuk N, (e) penanaman tanaman yang adaptif, (f) pengaturan pola tanam dan kalender tanam.

Kebijakan kelembagaan dan program juga sangat diperlukan untuk penanganan perubahan iklim. Menurut Las dan Syarwani (2013) perlu dilakukan langkah sebagai upaya strategi perubahan iklim antara lain: (a) reformasi peraturan perundang-undangan dan kebijakan sektor pertanian (*policy reform*), (b) pengembangan komunikasi dan *public awareness* dan peningkatan kapasitas SDM dan institusi (*Institutional Capacity Building*) (c) pengembangan, penyiapan dan penerapan teknologi adaptif untuk mitigasi dan adaptasi dengan dukungan sistem informasi iklim dan teknologi dan sistem peringatan dini ancaman iklim, (d) rehabilitasi dan peningkatan kapasitas infrastruktur pertanian seperti irigasi/drainase dan jalan usahatani.

TEKNOLOGI INOVATIF UNTUK ADAPTASI PERUBAHAN IKLIM DI LAHAN RAWA

Pengelolaan lahan rawa secara berkelanjutan dalam menghadapi perubahan iklim merupakan hal yang mendesak karena mempengaruhi produksi pangan nasional. Inovasi teknologi pengelolaan lahan rawa untuk adaptasi terhadap perubahan iklim antara lain: (1) Kalender tanam (katam), (2) Pengelolaan air dengan model *Sistak* (sistem tata air satu arah dan tabat konservasi) yang dilengkapi *stoplog*, (3) Sistem penataan lahan dengan Surjan atau Tukungan, (4) Varietas unggul rendah emisi Gas Rumah Kaca, (5) Ameliorasi dan pemupukan

Kalender Tanam Lahan Rawa (Katam Rawa)

Pola realisasi tanam di lahan rawa mengalami pergeseran ketika terjadi *El Niño* maupun *La Niña*. Wakhid dan Syahbuddin (2013) melaporkan bahwa lebih dari 90% pola tanam di lahan rawa masih dilakukan satu kali dalam satu tahun. Salah satu upaya menyikapi perubahan iklim melalui informasi kalender tanam untuk memperoleh informasi terutama saat waktu tanam dan pola tanam. Katam Rawa merupakan suatu aplikasi yang terdiri dari peta dan kumpulan data yang menggambarkan potensi pola tanam untuk tanaman pangan berdasarkan dinamika sumber daya iklim dan air. Katam Rawa juga memuat rekomendasi varietas adaptif di lahan rawa, seperti toleran terhadap rendaman, kekeringan, salinitas (garam), serta toleran terhadap hama penyakit di lahan rawa. Aplikasi ini dapat dijadikan panduan operasional bagi penyuluh dan petani dalam menjalankan usaha taninya secara berkelanjutan. Penyesuaian waktu dan pola tanam merupakan pendekatan adaptasi yang strategis untuk mengurangi serta menghindari dampak perubahan iklim akibat pergeseran musim dan perubahan pola curah hujan.

Pemanfaatan Katam Rawa memberikan keuntungan antara lain: (1) dapat mengestimasi waktu dan luas tanam padi di lahan rawa, (2) dapat memberikan informasi rekomendasi dan kebutuhan benih, (3) dapat memberikan informasi rekomendasi dan kebutuhan pupuk, (4) dapat memprediksi wilayah rawan banjir, kekeringan, dan serangan OPT di lahan rawa, (5) mudah di akses dan tersedia di *website* Badan Litbang Pertanian.

Pengelolaan Air dengan Sistak (Sistem Tata Air Satu Arah dan Tabat Konservasi) yang Dilengkapi Stoplog

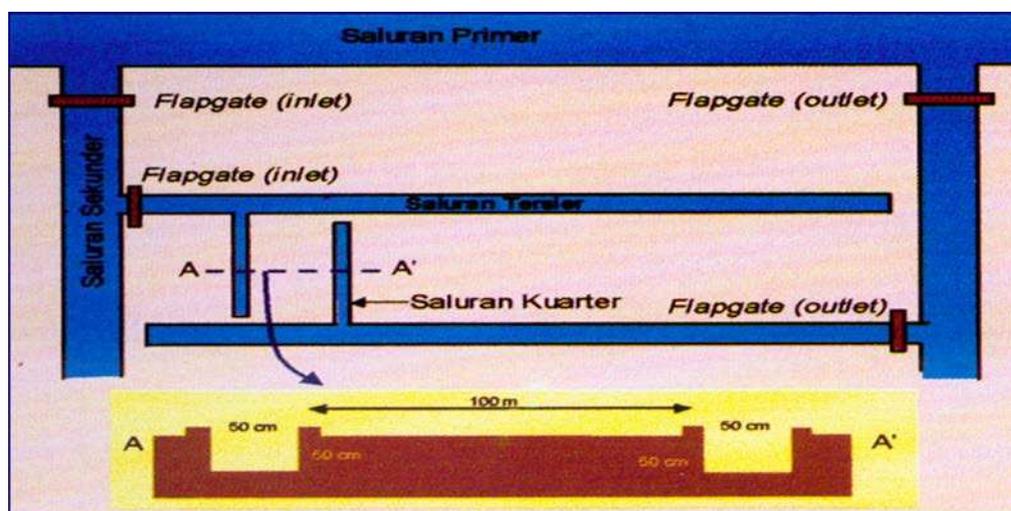
Pengelolaan air merupakan kunci keberhasilan dalam pengembangan lahan rawa. Pengelolaan air sangat diperlukan untuk memenuhi kebutuhan tanaman, baik pada musim hujan maupun kemarau. Pengelolaan air mempunyai peran pemberi/irigasi air untuk kecukupan tanaman, pengawetan tanah, pencucian terhadap unsur/senyawa racun seperti Al, Fe, H₂S bagi tanaman, pengkayaan hara dari air, serta salah satu upaya mitigasi dalam menurunkan emisi GRK. Pada lahan pasang surut sulfat masam selain untuk mensuplai ketersediaan air, pengelolaan air ditujukan juga untuk mengamankan lapisan pirit (FeS₂)

agar selalu basah atau tergenang. Pengelolaan air di lahan gambut mempunyai dua tujuan utama, yaitu: (1) menyediakan air yang cukup bagi pertumbuhan tanaman dan (2) menjaga kelestarian gambut agar terhindar dari kerusakan akibat drainase atau pengeringan, dan (3) menurunkan emisi GRK.

Pengembangan pengelolaan air seringkali dihadapkan pada kendala teknis antara lain: adanya pirit dangkal sehingga tanah menjadi masam, gambut tebal (> 2 m) sehingga tanaman kurang baik, intrusi air laut sehingga salinitas tinggi, dan merosot atau menurunnya kapasitas jaringan tata air, termasuk pintu-pintu air. Pengelolaan air perlu mempertimbangkan tipe luapan pasang surut atau ketinggian genangan pada lahan rawa lebak. Teknologi pengelolaan air di lahan pasang surut merupakan salah satu kunci utama keberhasilan usaha tani di lahan rawa pasang surut karena bila tata air tidak dapat dikendalikan, bukan hanya kegagalan yang diperoleh, tetapi juga menimbulkan berbagai kerusakan lingkungan (Suriadikarta 2005). Hal ini karena pemberian air dan waktu penggenangan di lahan rawa menentukan produksi padi (Kongchum 2005). Pengaturan air ke lahan tidak hanya berfungsi memasok air tetapi juga sebagai pengatur pH tanah dan mencuci hara toksik. Pada lahan pasang surut sulfat masam, penggenangan dan penambahan bahan organik selama 6 minggu pada pertanaman padi dapat meningkatkan pH tanah mencapai ≥ 5.0 (Annisa *et al.* 2011). Terdapat hubungan nyata antara penurunan produksi tanaman dengan keberadaan air tanah (Imanudin dan Bakri 2014). Air tanah akan optimum bila berada pada kedalaman -30 cm dan untuk padi tidak lebih dari -15 cm untuk masa pertumbuhan dan pembungaan.

Sistak (sistem tata air satu arah dan tabat konservasi) adalah sistem aliran air satu arah pada saluran tersier dengan menggunakan pintu kombinasi, yaitu pintu ayun yang digunakan saat pasang dan pintu *stoplog* yang digunakan untuk menahan air disaat surut. *Stoplog* adalah pintu penahan air pada saluran tersier atau pada kuarter. Pintu tersebut sangat berguna untuk mengendalikan muka air sesuai ketinggian yang diinginkan dan berguna untuk menahan air pada musim kemarau. Sistem ini sangat berguna untuk (1) membuang unsur atau senyawa racun, (2) meningkatkan indeks pertanaman (IP), (3) meningkatkan produksi tanaman, dan (4) mengkonservasi air dan tanah.

Pengelolaan air pada lahan bertipe luapan A dan B diatur dengan sistem satu arah ini dengan memasang pintu air (*flapgate*) semi otomatis agar terjadi aliran satu arah dengan membiarkan air pasang (air sungai segar yang kualitasnya baik) masuk ke lahan dan menahannya tidak keluar sewaktu surut. Lahan tipe luapan B selain aliran satu arah juga perlu ditambah dengan tabat yang berfungsi untuk menahan air terutama pada musim kemarau, sedangkan untuk tipe luapan C dan D saluran ditabat atau disekat agar air hujan dan air pasang tertampung di petakan lahan dan saluran (Gambar 2). Sistem tabat (*dam overflow*) selain bertujuan teknis agar lahan mudah diolah dan memudahkan tanam, tetapi juga mempunyai tujuan untuk memudahkan perombakan sisa panen sehingga meningkatkan kesuburan tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengelolaan air sistem aliran satu arah dapat meningkatkan hasil pada musim kemarau dan musim hujan berturut-turut sebesar 46% dan 55% dibandingkan sistem aliran dua arah (Annisa 2014). Teknologi adaptasi dengan menggunakan sistem tabat



Sumber: Balittra (2012)

Gambar 2. Pengaturan tata air mikro sistem tabat
 Figure 2. Micro water management with canal blocking

dapat berfungsi sebagai peyimpan air (*canall storage*). Sistem drainase terkendali di daerah reklamasi Kumpeh Muara Jambi dengan model penahanan menggunakan pintu *stoplog* dengan tinggi muka air dipertahankan pada 50 cm, dapat menjaga muka air tanah di masing-masing petak tersier agar tetap dalam batas toleransi 15-30 cm dibawah permukaan tanah (Imanudin dan Priatna 2015).

Teknologi pengelolaan air di lahan gambut pasang surut tipe B juga dapat menggunakan sistem tata air satu arah dan tabat konservasi (SISTAK). Teknologi tersebut dapat mencegah kekeringan gambut, sehingga lahan tidak rentan terhadap kebakaran dan menurunkan emisi. Pemasangan tabat (*dam overflow*) pada muara-muara saluran sebagai pintu air dapat meningkatkan tinggi permukaan air dan mempertahankan cadangan air pada lahan di sekitarnya. Pemasangan sekat dan tabat sangat penting dilakukan untuk meningkatkan tinggi muka air tanah baik di saluran maupun di lahan. Namun dalam operasional sangat diperlukan peran aktif masyarakat, mengingat selama ini saluran mempunyai fungsi sebagai jalur lalu lintas atau mobilitas dan pengangkutan sehingga terkendala dalam pengaturan air. Oleh karena itu, pengaturan atau pengelolaan air dapat lebih leluasa dan terkendali apabila pembuatan jalan darat dapat sejalan bersamaan dengan perancangan jaringan tata air.

Penataan Lahan Sistem Surjan

Lahan rawa memerlukan penataan lahan yang spesifik agar lahan dapat dimanfaatkan secara optimal. Penataan lahan perlu dilakukan untuk membuat lahan tersebut sesuai dengan kebutuhan tanaman yang akan dikembangkan. Lahan rawa lebak atau pasang surut mempunyai dinamika tinggi muka air. Lahan rawa pasang surut dapat mengalami kebanjiran/tengelim apabila pasang naik tinggi. Namun juga dapat kering apabila terjadi kemarau panjang karena banyak air hilang atau turun ke sungai sekitarnya tanpa terkendali sehingga muka air tanah turun mencapai kedalaman muka air tanah 50-100 cm di bawah permukaan tanah. Pada lahan rawa lebak dapat terjadi genangan tiba-tiba akibat adanya kiriman banjir dari daerah hulu Daerah Aliran Sungai (DAS).

Penataan lahan rawa sangat tergantung pada kondisi keragaman tipologi lahan dan tipe luapan (Tabel 2). Penataan lahan dengan sistem Sawah Surjan

dianjurkan pada lahan tipe luapan A, B, dan C dengan catatan memiliki kedalaman pirit > 60 cm (Gambar 3).

Tabel 2. Penataan penggunaan lahan rawa pasang surut

Table 2. Utilization allocation of tidal swamp land

Tipologi lahan	Tipe luapan A	Tipe luapan B	Tipe luapan C	Tipe luapan D
Potensial	Sawah/ tukungan	Sawah/ surjan/ tukungan	Sawah/ surjan/ tegalan	Sawah/ tegalan/ kebun
Sulfat masam	-	Sawah/ surjan/ tukungan	Sawah/ surjan	Sawah/ tegalan/ kebun
Bergambut	-	Sawah	Sawah/ kebun	Tegalan/ kebun
Gambut dangkal	-	Sawah	Sawah/ tegalan	Tegalan /kebun
Gambut sedang	-	-	Kebun	Kebun
Gambut dalam	-	-	Kebun	Kebun

Sumber: Simatupang *et al.* (2014)



Sumber: Balittra (2007)

Gambar 3. Sistem surjan di lahan rawa untuk optimalisasi pemanfaatan lahan dan adaptasi terhadap perubahan iklim

Figure 3. "Surjan" system in wetland for optimization of land use and adaptation to climate change

Sistem surjan di lahan rawa bersifat *multifungsi* baik dalam perspektif ekologi, ekonomi dan budaya. Dalam kondisi alami lahan rawa hanya memungkinkan untuk ditanami padi sekali setahun seperti yang dilakukan oleh sebagian besar petani. Namun dengan sistem surjan memberikan peluang bagi petani untuk menanam selain padi di atas surjan/tukungan dengan tanaman lahan kering (*upland crops*). Dalam perpektif ekologi sistem surjan dimaksudkan untuk menyiasati kondisi rawa yang sangat dipengaruhi oleh adanya pasang surut dan genangan dengan memanipulasi sumber daya lahan, tanpa menimbulkan dampak

negatif terhadap lingkungan. Perspektif ekonomi dalam kaitannya dengan pengembangan sumber daya ekonomi, yaitu dengan surjan maka lahan dapat dioptimalkan dengan intensitas pertanaman dan atau diversifikasi komoditas. Kaitannya dengan budaya, sistem surjan sebetulnya merupakan hasil empirik petani dalam menghadapi kondisi rawa yang kemudian berkembang menjadi nilai-nilai adat-istiadat dan kearifan lokal masyarakat setempat. Sistem surjan dapat diterapkan untuk meningkatkan optimalisasi serta diversifikasi komoditas di lahan rawa. Sistem surjan ini juga banyak diterapkan oleh petani Malaysia, Thailand dan Vietnam dalam pemanfaatan lahan rawa untuk pertanian (Noor 2004).

Varietas Adaptif, Unggul, dan Rendah Emisi GRK

Aspek lain yang tak kalah penting dalam upaya peningkatan produktivitas lahan rawa adalah pemilihan varietas tanaman padi. Penggunaan varietas unggul di lahan rawa harus diimbangi dengan ameliorasi dan pemupukan yang memadai, karena lahan sangat miskin unsur hara. Penggunaan varietas lokal akan lebih adaptif, namun produksinya rendah hanya berkisar 2-3 t ha⁻¹.

Pemilihan varietas padi di lahan rawa selain adaptif, berproduksi tinggi, namun juga rendah emisi. Sifat fisiologi maupun morfologi dari tanaman padi berpengaruh terhadap pelepasan metana, selain itu keragaman eksudat akar dari padi juga mempengaruhi emisi metana karena merupakan sumber karbon dan energi bagi bakteri yang hidup di daerah rhizosfer. Hasil penelitian Annisa (2014) menunjukkan bahwa penggunaan varietas padi unggul inpara 3 yang dibudidayakan di lahan rawa melepaskan emisi metana terendah hanya sebesar 30.76 kg ha⁻¹ musim⁻¹ dibandingkan varietas unggul lainnya seperti Inpari 30 sebesar 68.51 kg ha⁻¹ musim⁻¹.

Besarnya emisi metan selama fase pertumbuhan padi berfluktuatif. Saat fase pertumbuhan vegetatif pelepasan metan relatif lebih tinggi sampai pada 6-7 minggu setelah tanam kemudian menurun pada fase generatif dan meningkat lagi pada saat panen (Setyanto dan Arianti 2009). Morfologi dan fisiologi tanaman padi menentukan kemampuannya dalam menghasilkan gas metan. Aerenkim tanaman padi merupakan bagian yang sangat menentukan kemampuan tanaman padi melepaskan metan, karena sekitar 90% metan dilepaskan melalui aerenkim tanaman.

Kemampuan varietas padi dalam melepaskan gas metan tergantung pada rongga aerenkhima, jumlah anakan, biomasa padi, pola perakaran, dan aktivitas metabolisme. Semakin meningkat jumlah anakan padi, jumlah aerenkim juga akan semakin meningkat sehingga emisi metan juga semakin besar. Varietas berumur panjang menghasilkan emisi gas metan lebih besar daripada varietas berumur pendek (genjah). Semakin lama periode tumbuh tanaman semakin banyak eksudat dan biomas akar yang terbentuk sehingga emisi gas metan juga meningkat. Eksudat merupakan senyawa organik yang mengandung gula, asam amino, dan asam organik sebagai penyusun bahan yang mudah tersedia bagi bakteri penghasil gas metan. Semakin banyak dan merata perakaran tanaman semakin besar distribusi eksudat ke dalam tanah. Pembentukan gas metan juga tidak terlepas dari kemampuan akar sebagai pengoksidasi dalam tanah. Varietas yang memiliki kapasitas pengoksidasi akar yang baik mempunyai potensi menekan emisi metan. Kapasitas pengoksidasi akar ini mempengaruhi pertukaran gas yang dapat meningkatkan konsentrasi gas O₂, sedangkan konsentrasi CH₄ akan teroksidasi secara biologi oleh bakteri metanotropik (Setyanto 2004).

Ameliorasi dan Pemupukan

Ameliorasi merupakan salah satu upaya perbaikan kondisi tanah melalui pemberian bahan pembenah tanah sehingga mendukung pertumbuhan maupun produksi tanaman. Bahan amelioran dapat berupa bahan organik maupun anorganik. Pemberian amelioran selain berpengaruh terhadap perbaikan kesuburan tanah, juga berpengaruh terhadap emisi GRK

Pemberian kapur (dolomit) bertujuan untuk menurunkan tingkat kemasaman tanah, memperbaiki imbang unsur hara sehingga unsur hara dapat diserap oleh tanaman (Brown *et al* 2007). Salah satu peran amelioran adalah mempertahankan stabilitas tanah gambut untuk menekan laju kehilangan karbon dalam bentuk CH₄ dan CO₂. Dolomit mengandung unsur O₂ sehingga diharapkan bakteri metanotrof dapat berkembang baik dan menekan aktivitas bakteri metanogen yang hidup pada kondisi anaerob.

Pugam mengandung unsur hara penting yaitu P, Ca, Mg, Si, dan unsur mikro (Fe, Mn, Cu, Zn dan B) cukup signifikan. Pugam sebagai amelioran sangat efektif menekan kelarutan asam-asam fenolat, karena

Pugam mengandung bahan aktif kation polivalen seperti Fe, Al, Cu dan Zn yang mampu mengikat asam-asam fenolat monomer menjadi senyawa kompleks khelat yang tidak beracun (Stevenson 1994, Rachim 1995, Saragih 1996). Kation polivalen cenderung membentuk ikatan polidentat yaitu menempati dua atau lebih tapak jerapan dalam satu senyawa organik pada gugus fungsional karboksil, hidroksil dan karbonil. Kation Fe dan Al mampu menumbuhkan muatan positif yang mampu mengikat hara fosfat agar tidak hilang tercuci. Pugam bersifat basa dan mengandung cation Ca dan Mg yang tinggi sehingga bila diaplikasikan pada tanah gambut yang masam akan mengurangi tingkat kemasamannya.

Pugam berperan mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) melalui proses kompleksasi asam-asam organik, baik alifatik maupun aromatik. Sebagian besar emisi karbon berasal dari gugus C alifatik karena hancurnya ikatan karbon oleh aktivitas mikroba menghasilkan gas CO₂ dan CH₄. Bahan aktif pugam adalah kation polivalen yaitu Fe, Al, Cu dan Zn yang bisa membentuk ikatan koordinasi dengan ligan organik. Kation polivalen akan menjadi inti koordinasi dan mengikat beberapa asam organik monomer membentuk senyawa kompleks.

Penggunaan biochar mampu menurunkan emisi CO₂ dan N₂O di lahan gambut. Pengaruh penambahan biochar terhadap emisi tergantung pada jenis biochar. Seperti disampaikan oleh Mukherjee dan Lal (2013), emisi akibat penambahan biochar tergantung pada jenis biochar, kondisi pirolisis (suhu dan waktu pirolisis), jenis tanah, kondisi iklim dan sifat fisik tanah. Lebih lanjut dijelaskan bahwa biochar dapat meningkatkan ataupun menurunkan emisi CO₂. Aplikasi biochar awalnya dapat meningkatkan CO₂ karena: (i) mikroba mendekomposisi fraksi C labil dari biochar, (ii) pelepasan C anorganik (Zimmerman *et al.* 2010) dan (iii) '*priming effect*' akibat dekomposisi C selain dari biochar (Wardle *et al.* 2008).

Penggunaan pupuk kimia akan meningkatkan emisi metana dan ditunjukkan juga dengan hasil penelitian Sampanpanish (2012) bahwa penambahan pupuk kimia pada tanah sawah meningkatkan emisi metana menjadi 3.03 mg m⁻² hari⁻¹, sedangkan penggunaan pupuk buatan yang di substitusi dengan pupuk organik lebih ramah lingkungan dan cukup efisien menekan fluks metana. Annisa *et al.* (2015) melaporkan bahwa emisi CH₄ dan CO₂ dari pertanaman padi di lahan sulfat masam dapat direduksi dengan penggunaan biochar sekam padi yang dikombinasikan dengan kompos multiorganik sebesar 38,8 dan 18,9%.

PENUTUP

Perubahan iklim memberikan dampak yang sangat signifikan terhadap pertanian di lahan rawa. Dampak perubahan iklim pada sektor pertanian telah dirasakan diantaranya variabilitas iklim yang ekstrem, sehingga menurunkan produksi akibat semakin menurunnya luas tanam maupun menurunnya produktivitas lahan, peningkatan serangan organisme pengganggu (OPT), dan salinitas akibat naiknya permukaan air laut. Pengaruh perubahan iklim di lahan rawa sangat terkait dengan tipologi lahan. Pada lahan rawa lebak saat *El Niño* menyebabkan luas areal tanam semakin meningkat, namun saat *La Niña* menyebabkan semakin luas areal yang tergenang sehingga mengurangi areal yang dapat ditanami. Kondisi tersebut berbeda dengan lahan pasang surut, *El Niño* membawa dampak kekeringan sehingga pada lahan sulfat masam sering menimbulkan keracunan pirit dan meningkatkan salinitas, serta pada lahan gambut sering kali menyebabkan kebakaran lahan, sedangkan pada saat *La Niña* terjadi perubahan pola tanam. Kekhasan ekosistem rawa tersebut memerlukan penanganan khusus terkait adaptasi terhadap perubahan iklim agar potensi yang ada dapat dimanfaatkan secara optimal. Strategi dalam menghadapi perubahan iklim antara lain: meningkatkan pemahaman petani dan pihak terkait dalam mengantisipasi perubahan iklim; meningkatkan kemampuan sektor pertanian untuk beradaptasi dengan perubahan iklim; merakit dan menerapkan teknologi tepat guna dalam mitigasi dan adaptasi; meningkatkan kinerja penelitian dan pengembangan di bidang adaptasi dan mitigasi perubahan iklim. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian telah menghasilkan teknologi inovatif untuk optimalisasi lahan rawa dalam adaptasi terhadap perubahan iklim antara lain; pemanfaatan kalender tanam (Katam Rawa), teknologi pengelolaan air, teknologi optimalisasi pemanfaatan lahan melalui sistem surjan, penggunaan varietas adaptif, unggul, rendah emisi serta ameliorasi dan pemupukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Makalah ini disusun sebagai salah satu kegiatan Adaptasi Perubahan Iklim yang dibiayai oleh dana APBN TA 2016 di BBSDLP. Terimakasih juga kepada Prof. Dr. Fahmuddin Agus yang telah bersedia untuk mereview makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adger, W.N., N.W. Arnell, and E.L. Tompkins. 2005. Successful Adaptation to Climate Change Across Scale. *Global Environmental Change* 15 (2005) 77-86.
- Annisa, W., B.H. Purwanto, dan D. Shiddieq. 2011. Pengaruh pemberian Jerami Padi dan Purun Tikus pada Berbagai Tingkat Dekomposisi Terhadap Konsentrasi Besi di Tanah Sulfat Masam. *Jurnal Tanah dan Iklim*. Edisi Khusus Rawa. Juli 2011.
- Annisa, W. 2014. Peran Bahan Organik dan Pengelolaan Air Terhadap kelarutan Besi, Emisi GRK dan Produktivitas Padi di Lahan Sulfat Masam. Disertasi. Fakultas Pertanian UGM.
- Annisa, W., A. Jumberi, Koesrini, dan Dedi Nursyamsi. 2015. Pengaruh biochar terhadap emisi CH₄, CO₂, pertumbuhan dan hasil tanaman padi di tanah sulfat masam. Laporan Hasil Penelitian 2015. Kegiatan Pengelolaan Lahan Rawa Ramah Lingkungan. Balittra. Banjarbaru
- Balitbangtan (Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian). 2009. Road Map Strategi Sektor Pertanian Menghadapi Perubahan Iklim. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian. Jakarta. 82 hlm.
- Balittra (Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa). 2007. Laporan Hasil Penelitian. Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa. Banjarbaru.
- Balittra (Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa). 2012. Laporan Hasil Penelitian. Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa. Banjarbaru.
- Boer, R., and A. R. Subbiah. 2005. Agriculture drought in Indonesia. P.330-334. *In* V. S. Boken, A.P. Cracknell, and R.L. Heathcote (Eds). *Monitoring and Predicting Agricultural Drought: A global study*. Oxford Univ. Press.
- Brown, T.T., R.T. Koenig, D.R. Huggins, J.B. Harsh, and R.E. Rossi. 2007. Lime effect on soil acidity, crop yield, and aluminium chemistry in direct-seeded cropping system. *Soil Sci. Soc.Am.J.* 72:634-640.
- BBSDLP (Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian). 2014. Laporan Teknis No. 1/Dok./BBSDLP/2014. Luas, Penyebaran dan Potensi Sumberdaya Lahan Pertanian Nasional. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Dariah, A., S. Nurzakiah, dan F. Agus. 2013. Proses emisi serta inovasi teknologi adaptasi dan mitigasi emisi GRK di lahan gambut. *Politik Pembangunan Pertanian Menghadapi Perubahan Iklim*. Haryono, E. Pasandaran, M. Syarwani, Ai Darihan, S. M. Pasaribu, N. Sutrisno Saad (eds). Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian. IAARD Press. Jakarta.
- Faqih, A., dan R. Boer. 2013. Fenomena Perubahan Iklim Indonesia. *Politik Pembangunan Pertanian Menghadapi Perubahan Iklim*. Haryono, E. Pasandaran, M. Syarwani, Ai Darihan, S. M. Pasaribu, N. Sutrisno Saad (Eds). Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian. IAARD Press. Jakarta.
- Haryono. 2013. *Lahan Rawa: Lumbung Pangan Masa Depan Indonesia*. IAARD Press. Jakarta. 141 hlm.
- IPPC. 2001. *Climate change 2001; Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press. UK.
- IPCC. 2007. *The Physical Science Basic Summary for Policymakers*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva.
- Imanudin, M.S. dan S.J. Priatna. 2015. Adaptasi Teknologi Pengelolaan Air untuk Budidaya Tanaman Pangan di Lahan Rawa Sebagai Dampak Anomali Iklim *El Niño* (Studi Kasus Rawa Musi II Kota Palembang Sumatera Selatan dan Daerah Reklamasi Rawa Kumpeh Muara Jambi Provinsi Jambi). *Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal 2015*. Palembang 08-09 Oktober 2015. ISBN: 979-587-580-9.
- Khodijah, N.S. 2015. Hubungan antara perubahan iklim dan produksi tanaman padi di lahan rawa Sumatera Selatan. *Enviagro. Jurnal Pertanian dan Lingkungan*. 8 (2):83-91.
- KLH (Kementerian Lingkungan Hidup). 2007. *Rencana Aksi Nasional Mitigasi dan Adaptasi Perubahan Iklim*. Kementerian Negara Lingkungan Hidup. Jakarta.
- Kurniawan, H. 2015. Upaya khusus (Upsus) Swasembada Pangan 2015-2017. Balai Besar Litbang Bioteknologi Sumberdaya Genetika Pertanian. Badan Litbang Pertanian. Bogor.
- Kongchum, XX. 2005. Effect of Plant Residue and Water Management Practises on Soil Redox Chemistry, Methane Emission and Rice Productivity. *A Dissertation*, Louisiana State. 189p.
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup. 2007. *Rencana Aksi Nasional dalam Menghadapi Perubahan Iklim*. 48:119-147.
- Kementerian Pertanian. 2009. *Rencana Strategis Kementerian Pertanian 2010-2014*. Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Las, I., H. Syahbuddin, E. Surmaini, dan A.M. Fagi. 2008. Iklim dan tanaman padi: Tantangan dan Peluang. Dalam *Buku Padi: Inovasi Teknologi dan Ketahanan Pangan*. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. Sukamandi. Balitpa. Sukamandi. 437halaman.
- Las, I., A. Unadi, H. Syahbuddin dan E. Runtuuwu. 2008. *Atlas Kalender Tanam Pulau Sumatera Skala 1:1.000.000 dan 1:250.000*. Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi. Bogor.
- Las I. dan M. Sarwani. 2013. *Posisi, Strategi dan Kebijakan Sektor Pertanian Menghadapi Perubahan Iklim*. Politik Pembangunan Pertanian Menghadapi Perubahan Iklim. Haryono, E. Pasandaran, M. Syarwani, Ai Darihan, S. M. Pasaribu, N. Sutrisno Saad (Eds). Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian. IAARD Press. Jakarta.
- Mukherjee A. and R. Lal. 2013. Biochar impact on soil physical properties and green house gas emissions. *Agronomy* 3:313-339.
- Murdiyarsa, D., dan INN. Suryodiputra, 2004. *Paket Informasi Praktis: Perubahan iklim dan peranan lahan gambut*. Proyek CCFPI. WI-IP. Dan Wildlife Canada. Bogor.

- Murdiyarso, D., U. Rosalina, K. Hairiah, L. Muslihat, INN. Suryadiputra, dan A. Jaya. 2004. Petunjuk Lapangan Pendugaan Cadangan Karbon pada Lahan Gambut. Proyek CCFPI. WI-IP Dan Wildlife Canada. Bogor.
- Naylor, R., D.S. Battisti, D.J. Vimont, W.P. Falcon. and M.B. Burke. 2007. Assessing risks of climate variability and climate change for Indonesian rice agriculture. PNAS_May 8, 2007_Vol.104_no 19.
- Noor, M. 2001. Pertanian Lahan Gambut: Kendala dan Potensi. Kanisius. Yogyakarta. 174 halaman.
- Noor, M. 2004. Lahan Rawa: Sifat dan Pengelolaan Tanah Bermasalah Sulfat Masam. Raja Grafindo Persada. Jakarta. 241 hlm.
- Nugroho, K., dan Wahyunto. 2005. Penggunaan citra penginderaan jauh untuk mitigasi dampak perubahan iklim di sector pertanian. Jurnal Sumberdaya Lahan, 9(1):1-14.
- Nursyamsi, D., dan M. Noor. 2012. Lahan rawa sebagai lumbung pangan masa depan. Booklet. Badan Litbang pertanian. Balittra. Banjarbaru.
- Nursyamsi, D., M. Noor, dan Haryono. 2014. Sistem Surjan, Model Pertanian Lahan Rawa Adaptif Perubahan Iklim. Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian. IAARD Press. Jakarta.
- Nursyamsi, D., M. Alwi, M. Noor, K. Anwar, E. Maftu'ah, I. Khairullah, I. Ar-Riza, S. Raihan, R.S. Simatupang, Noorinayuwai, dan A. Jumberi, 2014. Pedoman Umum Pengelolaan Lahan Rawa Lebak untuk Pertanian Berkelanjutan. IAARD Press. Jakarta.
- Nugroho, K., Alkasuma, Paidi, Wahdani, W. Abdurachman, H. A. Suhardjo, dan I P.G. Widjaja-Adhi. 1992. Peta Areal Potensial untuk Pengembangan Pertanian Lahan Pasang Surut, Rawa dan Pantai. Proyek Penelitian Sumberdaya Lahan. Puslittanah. Bogor.
- Page, S.E., F. Siegert, J.O. Rieley, H-D.V. Boehm, A. Jaya, and S.H. Limin. 2002. The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. Nature 420: 61-65.
- Rachim, A. 1995. Penggunaan kation-kation polivalen dalam kaitannya dengan ketersediaan fosfat untuk meningkatkan produksi jagung pada tanah gambut. *Disertasi*. Program Pascasarjana IPB. Bogor. 268 hal.
- Sampanpanish, P. 2012. Use of organic fertilizer on paddy fields to reduce greenhouse gases. Science Asia, 38: 323-330.
- Saragih, E.S. 1996. Pengendalian asam-asam fenolat meracuni dengan penambahan Fe(III) pada tanah gambut dari Jambi, Sumatera. *Tesis*. Program Pascasarjana IPB. Bogor. 172 halaman.
- Setyanto P., dan M. Arianti. 2009. Mitigasi GRK dengan varietas rendah emisi. Prosiding Seminar Nasional Sumberdaya Lahan Pertanian. BBSDLP. Bogor.
- Setyanto, P. 2004. Methane emission and its mitigation in rice field under different management practices in central java. *Tesis*. UPM.
- Stevenson, F.J. 1994. Humus Chemistry: Genesis, composition, and reaction. Edisi ke 2. John Wiley & Sons, Inc. New York. 496 halaman.
- Sumaryanto. 2013. Penguatan Kapasitas Adaptasi sebagai Upaya Peningkatan Resiliensi Petani terhadap Perubahan Iklim. Politik Pembangunan Pertanian Menghadapi Perubahan Iklim. Haryono, E. Pasandaran, M. Syarwani, Ai Dariah, S. M. Pasaribu, N. Sutrisno Saad (*Eds*). Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian. IAARD Press. Jakarta.
- Surmaini, E., E. Runtunuwu, dan I. Las. 2011. Upaya sektor pertanian dalam menghadapi perubahan iklim. Jurnal Litbang Pertanian, 30(1).
- Suriadikarta. 2005. Pengelolaan Lahan Sulfat Masam Untuk Usaha Pertanian. Jurnal Litbang Pertanian. 24(1).
- Simatupang, R. S., Nurita, dan D. Nazemi. 2014. Inovasi Teknologi Penataan dan Penyiapan Lahan Rawa Pasang Surut. Teknologi Inovasi Lahan Rawa Pasang Surut Mendukung Kedaulatan Pangan Nasional. Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian. IAARD Press. Jakarta
- Usup, A., Y. Hashimoto, H. Takahashi, and H. Hayasaka. 2004. Combustion and thermal characteristics of peat fire in tropical peatland in Central Kalimantan, Indonesia. Tropics 14: 1-19.
- Widjaja-Adhi, I.P.G., K. Nugroho, D. Ardi S., dan A.S. Karama. 1992. Sumber daya lahan rawa : potensi, keterbatasan dan pemanfaatan. *Dalam* S. Partohardjono dan M. Syam (*Eds*). 1992. Pengembangan Terpadu Pertanian Lahan Rawa Pasang Surut dan Lebak. Risalah Pertemuan Nasional Pengembangan Pertanian Lahan Pasang Surut dan Rawa Lebak, Cisarua 3-4 Maret. Bogor: Puslitbang Tanaman Pangan.
- Wibowo, A. 2009. Peran lahan gambut dalam perubahan iklim global. Tekno Hutan Tanaman. 2(1):19-28.
- Wahyunto, H. Subagjo, S. Ritung, and H. Bakti. 2007. Map of Peatland Distribution Area and Carbon Content in Papua. Wetland International-Indonesia Program and Wildlife Habitat Canada (WHC).
- Wahyunto, S. Ritung, and H. Subagjo. 2003. Map of Peatland Distribution Area and Carbon Content in Sumatra. Wetland International-Indonesia Program and Wildlife Habitat Canada (WHC).
- Wahyunto, S. Ritung, Suparto, and H. Subagjo. 2004. Map of Peatland Distribution Area and Carbon Content in Kalimantan. Wetland International-Indonesia Program and Wildlife Habitat Canada (WHC).
- Wakhid, N., dan H. Syahbuddin. 2013. Peta kalender tanam padi lahan rawa lebak di Kalimantan Selatan di tengah perubahan iklim global. Jurnal Ilmiah Geomatika Vol 9; No1; 32-39
- Wardle, D.A., M.C. Nilsson, and O. Zackrisson. 2008. Fire-derived charcoal causes loss of forest humus. Science 320:269