

DEGRADASI LAHAN GAMBUT

Masganti., Eni Maftu'ah., dan Nur Wakhid
Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa Banjarbaru
Jln. Kebun Karet, Loktabat Utara, Banjarbaru
masgambut59@yahoo.com

Ringkasan

Lahan gambut mempunyai multi fungsi sebagai pengendali banjir dan kekeringan, pengonservasi berbagai sumber daya genetik, dan penghasil bahan pangan. Lahan gambut telah lama dimanfaatkan untuk berbagai keperluan oleh petani. Pemilihan lahan gambut sebagai pemasok bahan pangan didasarkan atas pertimbangan (1) produktivitas masih rendah, (2) lahan potensial masih luas, (3) indeks pertanaman (IP) masih rendah, (4) lahan terdegradasi yang potensial masih luas, (5) pola produksi bahan pangan bersifat komplementer dengan pola produksi bahan pangan di pulau Jawa, (6) kompetisi pemanfaatan lahan untuk tujuan non-pertanian relatif rendah, dan (7) tersedianya teknologi produksi berbagai komoditas. Kesalahan dalam pemanfaatan lahan gambut seperti pembakaran lahan, pengelolaan air yang salah, penambangan, dan penebangan pohon menyebabkan lahan gambut terdegradasi. Kriteria lahan gambut terdegradasi meliputi (a) bila penutupan vegetasinya didominasi oleh semak belukar, kadar karbon permukaan tanah gambut < 35 t/ha, atau (b) merupakan lahan terbuka bekas tambang. Sedangkan indikatornya meliputi (1) sudah ada penebangan pohon, (2) ada jalan *logging*, (3) ada bekas kebakaran, (4) kondisi lahan kering/tidak tergenang, dan (5) adanya bekas penambangan. Degradasi lahan gambut menyebabkan penurunan kesuburan tanah, produktivitas lahan, jenis tanaman yang dibudidayakan, daya konservasi kawasan air, jumlah dan populasi mikroorganisme, dan meningkatnya pencemaran air, udara, dan tanah, sehingga kapasitas fungsi hidrologi, fungsi konservasi, dan fungsi produksi menjadi berkurang menyebabkan lahan gambut terlantar. Dari 14,95 juta hektar lahan gambut Indonesia, 6,66 juta hektar diantaranya terdegradasi. Angka tersebut akan terus bertambah akibat aktivitas manusia. Remediasi perlu dilakukan untuk memulihkan atau memperbaiki sifat gambut. Remediasi dapat dilakukan melalui (1) pengelolaan air, (2) penggunaan pupuk kandang dan Pugam, (3) penggunaan abu gambut dan lumpur laut, dan (4) pemanfaatan limbah kelapa sawit.

Pendahuluan

Gambut merupakan kata yang tidak asing bagi masyarakat Kalimantan Selatan, terutama petani. Menurut Notohadiprawiro, (1988), istilah ini sudah populer di kalangan masyarakat Banjar (suku Banjar) lebih dari 100 tahun yang lalu, bahkan ada satu kecamatan di wilayah Kabupaten Banjar yang mengabadikannya dengan nama Kecamatan Gambut. Dalam masyarakat ilmiah, gambut dikenal sebagai material atau bahan organik yang tertimbun secara alami dalam keadaan basah berlebihan, bersifat tidak mampat dan atau hanya sedikit mengalami perombakan.

Pengertian gambut dapat dimaknai sebagai bahan yang berasal dari sisa tanaman dan hewan dengan tingkat dekomposisi yang bervariasi. Dalam makna ini variasi karakteristik gambut akan tergantung dari asal bahan organik, tingkat pelapukan, ketebalan lapisan gambut, dan keadaan lingkungan gambut. Gambut juga dapat dimaknai sebagai tanah yang penyusunnya didominasi oleh bahan organik dengan bahan mineral yang relatif rendah. Dalam pengertian ini, karakteristik gambut sangat dipengaruhi oleh komposisi, konsentrasi, dan ketersediaan bahan mineral penyusun gambut. Oleh karena itu karakteristik gambut ditentukan oleh (1) bahan atau komponen penyusun, (2) komposisi dan ketersediaan komponen penyusun, (3) ketebalan setiap lapisan, (4) jenis tanah yang ada di lapisan bawah/stratum, (5) tingkat pelapukan, dan (6) posisi pembentukannya. Faktor-faktor inilah yang menyebabkan karakteristik gambut menjadi variatif.

Gambut mempunyai karakteristik yang unik dan memiliki multifungsi sebagai pengatur tata air, pengendali banjir dan habitat (tempat hidup) anekaragam jenis makhluk hidup maupun sebagai penyimpan karbon, sehingga berperan dalam pengendalian stabilitas iklim global (Kementerian Lingkungan Hidup, 2012; Masganti, 2013). Salah kelola dalam pemanfaatan lahan gambut oleh manusia seperti pembakaran lahan, pengelolaan air, penambangan, dan penebangan pohon menyebabkan gambut terdegradasi (Masganti *et al.*, 2014a; Wahyunto *et al.*, 2014; Masganti *et al.*, 2015a). Kondisi ini dapat menyebabkan banjir pada musim hujan, kekeringan dan kebakaran pada musim kemarau, dan menurunnya produktivitas lahan dan pendapatan petani (Masganti *et al.*, 2014b; 2015b), serta terjadinya pencemaran terhadap tanah, air dan udara.

Dibandingkan dengan tanah mineral, tanah gambut mempunyai tingkat problematika yang lebih sulit jika dimanfaatkan sebagai lumbung pangan karena sifat-sifat kimia, fisika, dan biologi yang terdapat dalam tanah gambut V. Degradasi dan Remediasi 441

(Tan, 1994; Soil Survey Staff, 2010). Oleh karena itu perlu dilakukan tindakan pengelolaan yang tepat agar produktivitas lahan dapat terjaga, pendapatan petani meningkat, dan kerusakan lingkungan menjadi minimal. Salah satunya adalah penerepan teknologi budidaya yang berorientasi dan bersifat konservasi terhadap sumberdaya alam dan lingkungannya.

Pembentukan gambut di wilayah tropika bermula dari adanya genangan di daerah rawa, danau maupun cekungan yang didukung oleh curah hujan yang tinggi sehingga proses pencucian basa-basa dan pemasaman tanah berlangsung intensif diikuti dengan penurunan aktivitas jasad renik perombak bahan organik (Rieley *et al.*, 1996), sehingga kecepatan penimbunan bahan organik berlangsung lebih cepat dibandingkan penguraiannya. Tanah gambut di Indonesia umumnya adalah gambut yang tidak subur dikenal dengan gambut Oligotropik (Masganti, 2003). Jenis gambut ini ditandai dengan kadar abu yang rendah (<2%), biasanya kurang dari 1%, kecuali lahan gambut tersebut mengalami kebakaran yang berulang (Adi Jaya *et al.*, 2001; Kurnain *et al.*, 2001).

Tulisan ini bertujuan untuk memaparkan tentang pengertian lahan gambut terdegradasi, penyebab degradasi dan dampak degradasi terhadap sifat-sifat tanah dan produktivitas lahan, agar menjadi bahan pertimbangan bagi pengambil kebijakan dalam mengembangkan lahan gambut sebagai lumbung pangan secara lestari.

Degradasi Lahan Gambut

Pengertian gambut terdegradasi

Lahan gambut di Indonesia saat ini diperkirakan luasnya mencapai 14,90 juta hektar yang tersebar di Sumatera 6,44 juta hektar (43 %), Kalimantan 4,78 juta hektar (32 %) dan Papua 3,69 juta hektar (25 %) (Ritung *et al.*, 2011). Dari luasan tersebut sekitar 4,4 juta hektar merupakan lahan terdegradasi (Agus *et al.*, 2014). Pada umumnya lahan gambut terdegradasi berpeluang untuk dimanfaatkan sebagai areal pengembangan pertanian. Namun pemanfaatan lahan gambut untuk pertanian dihadapkan banyak kendala baik teknis, sosial dan aturan perundang-undangan.

Degradasi merupakan suatu keadaan dimana kapasitas multifungsi gambut berkurang. Pada umumnya degradasi banyak disebabkan oleh kegiatan manusia. Lahan gambut yang terdegradasi dapat dideteksi dengan 2 (dua) cara yakni (1) analisis laboratorium, dan (2) penampakan lapang. Lahan gambut yang terdegradasi apabila kandungan karbon (C) lahan AGROKOLOGI RAWA 442

penutup tanahnya kurang dari 35 t/ha (Rieley dan Setiadi, 1997; Bappenas, 2009; World Resources Institute, 2012). Lahan gambut yang mempunyai kadar C yang < 35 t/ha biasanya vegetasi penutup tanahnya didominasi oleh semak-semak belukar. Pada musim kemarau yang panjang, vegetasi ini sangat rawan terbakar dan menyebabkan emisi karbon/CO₂ (Agus *et al.*, 2012).

Lahan gambut terdegradasi adalah lahan gambut yang telah dialihfungsikan dari hutan alami menjadi areal lain yang tidak dimanfaatkan dan mengalami penurunan baik fungsi sebagai media tumbuh maupun fungsi lingkungan. Berdasarkan PP 71 tahun 2014 kerusakan ekosistem gambut pada kawasan budidaya terjadi jika muka air tanah lebih dari 0,4 meter di bawah permukaan gambut dan atau tereksposnya sedimen berpirit dan atau pasir kuarsa di bawah lapisan gambut. Berdasarkan PP 57 tahun 2016 (pengganti PP 71/2014) lahan gambut terdegradasi (rusak) pada kawasan budidaya terjadi jika muka air tanahnya lebih dari 0,4 meter di bawah permukaan dan atau tereksposnya sedimen berpirit dan atau pasir kuarsa di bawah lapisan gambut.

Lahan gambut terdegradasi dicirikan dengan perubahan sifat fisika, biologi dan kimia yang menyebabkan penurunan fungsi ekologi gambut yang membahayakan lingkungan dan sosial ekonomi pembangunan. Degradasi lahan gambut dalam hal penurunan fungsinya sebagai media tumbuh tanaman, dicirikan oleh salah satu sifat atau kombinasi dari beberapa sifat berikut ini yaitu: menurunnya kemampuan memegang air (hidrofobik), meningkatnya kemasaman tanah, menurunnya karbon organik total (TOC) dan semakin menurunnya kadar N-total (Anshari, 2010). Degradasi lahan gambut seringkali disebabkan oleh drainase lahan. Pada kondisi tanpa gangguan, stok karbon lahan gambut umumnya stabil (Page *et al.*, 2002).

Kriteria penentuan lahan gambut terdegradasi dapat mengaju pada: (1) kondisi penutupan lahan, (2) sifat lahan gambut dan kondisi lingkungan, (3) kondisi hidrologi, fisik, dan biologi tanah, dan (4) peraturan perundang-undangan (Wahyunto *et al.*, 2013). Lebih lanjut dijelaskan bahwa indikator lahan gambut terdegradasi dari kondisi lahan dapat langsung diketahui antara lain: sudah ada penebangan pohon; terdapat jalan *logging*, bekas kebakaran, kering/tidak tergenang. Degradasi lahan gambut di Indonesia selalu meningkat dari tahun ke tahun. Kebakaran hutan merupakan salah satu penyebab utama kerusakan tersebut selain penyebab lainnya, seperti penebangan kayu (*illegal logging/over logging*), perambahan hutan, dan konversi lahan.V. Degradasi dan Remediasi 443

Jenis penutup lahan atau penampakan lapangan dapat dijadikan dasar untuk menilai apakah lahan gambut tersebut terdegradasi (Wahyunto *et al.*, 2014). Beberapa penciri penampakan lapang adalah (1) tanaman penutup tanahnya merupakan semak belukar, dan (2) lahan terbuka bekas tambang. Biasanya lahan tersebut tidak dimanfaatkan karena produktivitasnya yang rendah, kurangnya sarana pendukung, dan jauh dari pemukiman (Masganti *et al.*, 2015b) serta diperlukan input produksi yang lebih tinggi untuk menghasilkan jumlah bahan pangan yang sama (Masganti *et al.*, 2002, Masganti, 2013).

Terdegradasi atau tidaknya suatu lahan gambut harus dapat ditentukan melalui beberapa indikator secara fisik. Untuk itu, Wahyunto *et al.* (2014) mengusulkan 5 (lima) indikator yang meliputi (1) sudah ada penebangan pohon, (2) ada jalan *logging*, (3) ada bekas kebakaran, (4) kondisi lahan kering/tidak tergenang, dan (5) adanya bekas penambangan.

Penyebab lahan gambut terdegradasi

Pada kondisi alami dan tanpa gangguan, ekosistem hutan gambut umumnya pada kondisi stabil dan seimbang (*equilibrium*). Namun ekosistem hutan gambut yang stabil akan menjadi rapuh dan rusak jika kondisi iklim mikro hutan gambut berubah. Penebangan pohon pada hutan gambut, pengambilan tanah gambut untuk keperluan lain dan konversi lahan gambut menjadi kawasan budidaya dapat mengakibatkan perubahan ekosistem hutan gambut. Berkurang atau hilangnya kawasan hutan rawa gambut akan menurunkan kualitas lingkungan, bahkan menyebabkan banjir pada musim hujan dan kekeringan serta kebakaran pada musim kemarau (Tim Sintesis Kebijakan, 2008). Hutan rawa gambut mempunyai nilai konservasi yang sangat tinggi dan fungsi lainnya seperti fungsi hidrologi, cadangan karbon, dan biodiversitas yang penting untuk kenyamanan lingkungan dan kehidupan satwa. Jika ekosistemnya terganggu maka intensitas dan frekuensi bencana alam seperti kebakaran lahan akan makin sering terjadi dan emisi karbon semakin meningkat.

Penyebab degradasi lahan gambut tidak terlepas dari akibat aktivitas manusia. Perubahan ekosistem lahan gambut dapat terjadi karena adanya perubahan struktur vegetasi dan perubahan tanah gambut. Peristiwa perubahan kedua hal tersebut dapat terjadi secara berbarengan atau dapat juga terjadi salah satunya. Secara garis besar ada 4 (empat) tindakan AGROEKOLOGI RAWA 444

manusia yang menyebabkan degradasi, yakni (1) pengelolaan air yang salah, (2) pembakaran lahan, (3) penambangan, dan (4) penebangan pohon (Masganti, 2013; Masganti *et al.*, 2014a, Wahyunto *et al.*, 2014). Keempat faktor ini menyebabkan perubahan komponen ekosistem lahan gambut yang pada gilirannya berdampak negatif terhadap ekosistem gambut (Konsorsium PETUAH, 2017). Degradasi lahan gambut dapat terjadi akibat kesalahan pembukaan lahan, pembuatan saluran drainase serta pengelolaan lahan. Selain itu, degradasi juga dapat disebabkan terjadinya kebakaran atau pembakaran lahan gambut. Kebakaran lahan berdampak terhadap lingkungan dan biofisik lahan yaitu pelepasan asap, CO₂, peningkatan suhu tanah dan udara dan kerusakan habitat flora dan fauna.

Kebakaran lahan menyebabkan terjadinya penipisan lapisan gambut, sehingga mempercepat tersingkapnya lapisan tanah mineral miskin hara yang berada di bawah lapisan gambut, akibatnya tanaman tidak dapat tumbuh dengan baik dan berproduksi maksimum. Kondisi ini menyebabkan banyak lahan yang terlantar (Las *et al.*, 2012; Masganti, 2013). Kebakaran lahan juga menyebabkan laju subsidensi gambut lebih cepat. Subsidensi gambut diikuti dengan pelepasan gas rumah kaca (GRK), sehingga mencemari lingkungan tanah, air, dan udara. Selain itu unsur N dalam tanah menjadi menguap karena pembakaran.

Salah satu karakteristik unik gambut adalah kemampuan spektakuler dalam menahan atau memegang air. Gambut yang dalam kondisi hidrofilik mampu memegang air 5-30 kali beratnya (Masganti, 2012). Apabila gambut terbakar, kemampuan tersebut mengalami penurunan yang sangat drastis. Inilah salah satu penyebab terjadinya banjir pada musim hujan, dan kekeringan dan kebakaran pada musim kemarau akibat berkurangnya daya konservasi air kawasan (Sarwani *et al.*, 2006; Masganti, 2013; Masganti *et al.*, 2014a). Kebakaran juga menyebabkan berkurangnya jenis dan populasi mikroorganisme di lahan gambut (Agustina *et al.*, 2001), bahkan dapat menyebabkan berkurangnya populasi dan musnahnya satwa tertentu, dan berkurangnya akurasi hasil analisis sifat kimia tanah di laboratorium (Masganti, 2012). Kebakaran juga menyebabkan berkurangnya efektivitas pemupukan tanaman (Masganti *et al.*, 2002).

Pengalaman masa lalu akibat besarnya laju konversi hutan gambut di Indonesia terjadi tidak hanya terhadap hutan yang mempunyai lapisan gambut tipis, tetapi juga terhadap hutan gambut yang mempunyai lapisan gambut tebal yang termasuk kategori kawasan lindung. Pembuatan saluran V. Degradasi dan Remediasi

drainase untuk mengalirkan air dari hutan gambut ke sungai pada saat konversi lahan gambut untuk pertanian dan perkebunan tidak hanya menyebabkan keringnya air di hutan gambut yang berada di lokasi tersebut, namun juga menyebabkan keringnya kawasan di sekitarnya.

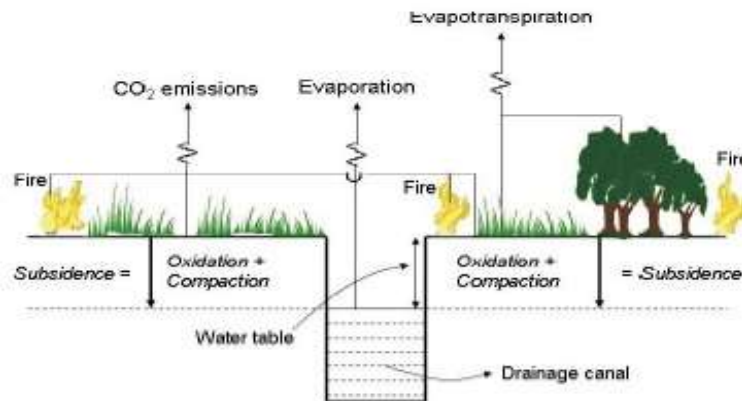
Pengelolaan air yang salah ditengarai sebagai penyebab degradasi lahan gambut (Masganti 2013, Masganti *et al.*, 2014b). Pengelolaan air menjadi salah satu kunci utama untuk meningkatkan produktivitas lahan (Masganti *et al.*, 2015a). Pengelolaan air mempunyai fungsi ganda, selain menjamin kebutuhan air tanaman juga menjaga kondisi aerasi bagi mikroorganisme, dan mengendalikan reaksi kimia tanah dan perkembangan perakaran tanaman serta menekan laju subsidensi gambut.

Drainase lahan gambut menyebabkan proses *irreversible drying* dan oksidasi gambut (Wösten *et al.*, 2008), sehingga gambut menjadi tidak mampu menyimpan air kembali dan gambut menjadi kering. Hal ini meningkatkan kerentanan gambut terhadap kebakaran (Hooijer *et al.*, 2006), dan secara signifikan melepaskan CO₂ ke atmosfer (Page *et al.*, 2002), khususnya pada kondisi ekstrim *El Nino* (Page *et al.*, 2002; Ballhorn *et al.*, 2009, Hooijer *et al.*, 2010). Melalui hasil ekstrapolasi di Indonesia secara keseluruhan, diperkirakan antara 0,81 sampai 2,57 Gt karbon yang dilepaskan ke atmosfer pada tahun 1997 sebagai akibat dari kebakaran gambut dan vegetasi. Hal ini setara dengan 13-40% dari emisi karbon rata-rata tahunan global dari bahan bakar fosil, dan memberikan kontribusi besar terhadap peningkatan tahunan terbesar konsentrasi CO₂ di atmosfer (Page *et al.*, 2002).

Pembuatan saluran drainase bertujuan untuk menurunkan permukaan air tanah, yang kedalamannya umumnya disesuaikan dengan kebutuhan tanaman. Pembuatan saluran drainase tanpa mengindahkan konsep ekologis seringkali terjadi pada pembukaan lahan untuk kepentingan pertumbuhan tanaman *introduce* dari lahan kering, sehingga memerlukan media perakaran yang sesuai. Saluran drainase memberi dampak terhadap perubahan ekosistem lahan gambut melalui perubahan kondisi anaerob menjadi aerob, peningkatan emisi GRK, dan gambut menjadi kering sehingga rentan kebakaran. Drainase pada lahan gambut dapat mengurangi fungsi konservasi hidrologi akibat berubahnya sifat gambut yang semula hidrofilik menjadi hidrofobik, atau tanah gambut yang semula dapat menyerap air berubah menjadi tidak dapat menyerap air. Kondisi tersebut menyebabkan kemampuan gambut sebagai penangkap air akan hilang, sehingga tata hidrologi lahan gambut akan berubah drastis. Hal ini yang kemudian

menyebabkan mudah timbulnya banjir pada musim hujan dan kebakaran pada musim kemarau (Gambar 1).

Dinamika sistem pada lahan gambut dapat terbentuk dari berbagai interaksi antara vegetasi, siklus hara dan hidrologi (Meiling dan Goh, 2008). Perkebunan kelapa sawit di lahan gambut diharapkan dapat menerapkan prinsip ekologis kawasan yang berbasis pada optimalisasi dan kelestarian sumberdaya. Namun pada kenyataannya yang terjadi sering memberikan perubahan yang besar dan menyebabkan hilangnya fungsi ekologis pada lahan gambut tersebut. Aktivitas pembukaan dan pembersihan lahan (*land clearing*) dan pembuatan saluran (*drainase*) menyebabkan terjadinya perubahan tata air (hidrologi).



Gambar 1. Pengaruh drainase yang mengakibatkan oksidasi pematangan gambut yang mengakibatkan subsidensi serta kebakaran di lahan gambut (Sumber : Wibowo, 2009)

Saluran drainase juga mengakibatkan penurunan permukaan gambut (*subsidence*) (Gambar 1). Subsiden dapat terjadi akibat proses fisik dan kimia pada tanah gambut. Penyusutan gambut dapat terjadi akibat kehilangan air dan diikuti oleh masuknya udara ke dalam tanah. Kehilangan air dari massa gambut menyebabkan kematangan gambut secara fisik (*physical ripening*), sehingga terjadi penyusutan gambut, sedangkan masuknya oksigen dalam tanah gambut dapat meningkatkan proses dekomposisi (*chemical ripening*). Menurut Sarwani (2003) hampir 50% lahan gambut di Delta Pulau Petak,

hilang atau susut dalam rentang 30 tahun 1960-1990. Gambut yang berada di atas lapisan bahan sulfidik bersifat *protective sponge* agar lapisan tersebut tetap dalam kondisi anaerob (Page *et al.*, 2009). Hilangnya lapisan gambut dapat meningkatkan kemasaman tanah, aluminium dapat dipertukarkan, dan pencucian basa-basa (Fahmi, 2012). Faktor lain yang juga mempengaruhi subsiden adalah penggunaan alat-alat berat dan pemupukan. Proses subsiden berlangsung cepat (mencapai 20-50 cm/tahun) pada awal dibangunnya saluran drainase (Welch dan Nor, 1989), terutama disebabkan besarnya komponen konsolidasi dan pengkerutan, namun dengan berjalannya waktu maka subsiden mengalami kestabilan.

Penyebab degradasi lahan gambut berikutnya adalah penambangan (Masganti *et al.*, 2014b; Wahyunto *et al.*, 2014). Penambangan menyebabkan terbaliknya profil tanah. Tanah yang semula berada di lapisan bawah digali dan diletakkan ke permukaan dan biasanya meninggalkan tanah yang gundul. Tanah yang demikian biasanya miskin hara, dan sering mengandung toksik bagi tanaman, sehingga tidak dapat dimanfaatkan petani. Tanah gambut yang terdegradasi akibat penambangan menyebabkan degradasi yang berat, sehingga perlu tindakan rehabilitasi agar dapat dimanfaatkan.

Penebangan kayu dapat memicu degradasi lahan gambut karena (a) pembuatan saluran untuk mengangkut kayu, (b) pembuatan jalan dengan memanfaatkan tanah bagian bawah untuk pemadatan, dan (c) berkurangnya kapasitas kawasan menahan air akibat berkurangnya pohon. Apalagi jika penebangan pohon tidak disertai memperhatikan keseimbangan ekologi.

Degradasi lahan gambut juga dapat terjadi karena keterbatasan petani untuk mendapatkan bahan amelioran dan pupuk. Petani di Kalampangan, Kota Palangkaraya, Kalimantan Tengah umumnya memanfaatkan abu untuk bahan pembenah tanah. Abu diperoleh dari hasil pembakaran gulma, kayu-kayuan dan gambut. Untuk mendapatkan abu sebanyak satu kilogram diperlukan bahan organik (bahan baku) sebanyak 1,0–2,5 kg. Sementara itu, petani dalam menggunakan abu takarannya cukup tinggi yaitu sekitar 4 t / ha, sehingga diperlukan bahan baku sekitar 40–50 t/ha.

Petani di Kalimantan Barat, Sumatera Selatan dan Jambi membakar serasah tanaman *in-situ* dan sebagian lapisan gambut kering sebelum bertanam. Hasil wawancara dengan petani di Kalimantan Barat menginformasikan bahwa lapisan gambut yang terbakar sekitar 3–5 cm tiap musim. Kasus di Kabupaten Kubu Raya, Kalimantan Barat yang memiliki 60% lahan gambut dari total wilayahnya telah menunjukkan terjadi kerusakan lahan cukup AGROKOLOGI RAWA 448

luas. Pemanfaatan abu dari bakaran biomassa gulma dan bahan gambut secara terus menerus dapat berdampak terhadap kelestarian gambut dan peningkatan emisi CO₂ serta dapat menjadikan sumber kebakaran lahan gambut secara luas sehingga dapat mengurangi cadangan karbon di lahan gambut. Upaya pemanfaatan bahan amelioran alternatif pengganti abu perlu dilakukan, guna menjaga kelestarian gambut dan mencegah semakin meningkatnya emisi CO₂.

Potensi gambut terdegradasi

Memilih lahan gambut sebagai lumbung pangan masa depan Indonesia merupakan pilihan yang tepat mengingat: (1) produktivitas masih rendah, (2) lahan potensial masih luas, (3) indeks pertanaman (IP) masih rendah, (4) lahan terdegradasi yang potensial masih luas, (5) pola produksi bahan pangan bersifat komplementer dengan pola produksi bahan pangan di pulau Jawa, (6) kompetisi pemanfaatan lahan untuk tujuan nonpertanian relatif rendah (Masganti, 2013), dan (7) tersedianya teknologi produksi berbagai komoditas. Oleh karena itu untuk menjamin ketersediaan dan kontinuitas pasokan bahan pangan, dan untuk meningkatkan devisa negara dari sektor pertanian, Kementerian Pertanian dihadapkan pada pilihan menggunakan lahan-lahan suboptimal seperti lahan gambut terdegradasi (Haryono, 2013; Ritung *et al.*, 2015).

Menilik luasnya, lahan gambut sangat potensial dimanfaatkan untuk penyedia bahan pangan. Diperkirakan luas lahan gambut di Indonesia sekitar 14,95 juta hektar (Wahyunto *et al.*, 2014). Luas tersebut diperkirakan akan semakin berkurang mengingat adanya kebakaran yang menyebabkan tanah gambut yang awalnya dikategorikan gambut tipis (ketebalan >50-100 cm) menjadi bergambut (ketebalan ≤ 50 cm). Kesalahan manusia dalam pengelolaan lahan seperti membakar lahan, mengelola air, menambang dan menebang pohon menyebabkan terjadinya degradasi. Diperkirakan sekitar 6,66 juta hektar atau 44,60% lahan gambut mengalami degradasi. Luas ini akan semakin bertambah dengan adanya kesalahan manusia dalam mengelola lahannya, apalagi tanpa diimbangi dengan langkah-langkah untuk meminimumkan atau menghambat laju degradasi lahan gambut.

Dampak dan Remediasi Gambut Terdegradasi

Sifat kimia tanah

Lahan gambut terdegradasi salah satunya ditandai oleh adanya lapisan hidrofobik pada lapisan atas. Proses kehilangan air yang besar menyebabkan terjadinya perubahan struktur molekul koloid gambut yang berinteraksi membentuk struktur yang lebih stabil, sehingga tidak mampu menyerap air kembali (hidrofobik). Adanya sifat hidrofobik pada lahan gambut terdegradasi ini menyebabkan tanah gambut sangat rentan terhadap kebakaran. Gambut yang terbakar kemampuan memegang airnya menurun (Masganti, 2012).

Hidrofobitas akan mempengaruhi kemampuan substansi humat dalam adsorpsi kation (Chorover *et al.*, 1999). Kondisi hidrofobik berkaitan dengan berkurangnya ketersediaan gugus karboksilat dan fenolat (Masganti, 2003). Kedua komponen organik tersebut merupakan senyawa yang bersifat hidrofilik (Utami *et al.*, 2009). Hidrofobitas ini timbul seiring dengan menurunnya kemasaman total, gugus karboksilat dan fenolat. Sifat gambut yang erat kaitannya dengan sifat “kering tidak-balik” meliputi kadar air, kadar abu dan komposisi gambut (lignin, selulose, hemiselulose, kemasaman total, gugus karboksilat dan OH-fenolat). Berdasarkan penelitian Utami *et al.* (2009) dengan menggunakan FTIR Spektrofotometer sifat hidrofobik dibawa oleh gugus fungsional ester, eter, fenol (1265,3 per cm) dan gugus C=C dan bentuk siklik dan benzena (1627 per cm). Sedangkan sifat hidrofilik gambut dicirikan oleh keberadaan ikatan hidrogen, gugus OH grup dan OH bebas (3425 per cm), luasnya melebihi 40%.

Kebakaran lahan gambut menurunkan total karbon, total nitrogen dan total fosfat, sedangkan kandungan P-organik dan kalsium meningkat (Smith *et al.*, 2001). Drainase lahan gambut meningkatkan pH gambut, BD, dan cenderung meningkatkan total nitrogen (Anshari *et al.*, 2010). Lebih lanjut dijelaskan drainase lahan gambut secara nyata menyebabkan penurunan rasio C/N (Tabel 1). Kandungan fenol dan monomer lignin dan karbohidrat meningkat seiring dengan degradasi lahan gambut (Leinweber *et al.*, 2001).

Pada lapisan bawah lahan gambut pasang surut terdapat lapisan pirit yang jika terganggu (terekspose) menyebabkan tanah menjadi sangat masam. Praktek pembukaan lahan yang seringkali dilakukan oleh petani saat ini adalah melalui *slash and burn*, sehingga membawa banyak dampak negatif baik bagi ekosistem tanah maupun lingkungan. Terjadinya oksidasi lapisan pirit juga dapat disebabkan oleh pengelolaan lahan yang tidak benar antara

lain drainase yang berlebihan serta pemupukan yang tidak tepat sehingga mempercepat oksidasi gambut yang menyebabkan hilangnya lapisan gambut.

Kebakaran lahan gambut dapat menyebabkan semakin menipisnya lapisan gambut atau bahkan hilangnya lapisan gambut. Lapisan gambut yang berada diatas bahan sulfidik dapat berperan sebagai *protective sponge* agar lapisan tersebut tetap dalam kondisi anaerob (Page *et al.*, 2006). Kondisi oksidatif menyebabkan pirit dan Fe-hidrooksida teroksidasi sehingga tanah menjadi sangat masam mencapai < 3,7 (Dent, 1986). Pada tanah gambut tipis, sifat lapisan atas juga sangat dipengaruhi oleh lapisan bawah substramnya. Kemasaman yang terjadi pada gambut tipis juga dipengaruhi oleh terjadinya oksidasi lapisan pirit yang ada di lapisan bawah. Proses oksidasi pirit ini menghasilkan ion Fe^{2+} , SO_4^{2-} , d Mensvoort dan Dent, 1998).

Tabel 1. Karakteristik kimia tanah gambut pada beberapa kondisi lahan gambut di Kalimantan Barat

Lahan	pH H ₂ O	TOC (%)	TN (%)	Ratio C/N
Hutan gambut pantai	3,59	54,39	1,57	41,89
Hutan gambut pedalaman	3,49	53,04	0,79	73,08
HTI muda (< 5 th)	3,82	50,21	1,24	42,41
Lahan Logging	3,47	51,21	0,98	56,46
Perkebunan sawit muda (<5 th)	3,69	51,43	3,28	16,18
Perkebunan sawit (<5 th – 10 th)	3,57	52,65	2,37	32,85
Perkebunan sawit (<15 th – 20 th)	3,69	51,61	3,39	15,40
Lahan pertanian		53,25	3,07	17,52

Keterangan : Modifikasi dari: Anshari *et al.*, 2010

Sifat fisika tanah

Gambut mempunyai sifat *hydrophysical* yakni mempunyai daya serap air yang kuat sebagai bahan terlarut. Kapasitas mengikat air pada gambut sangat tinggi berkisar antara 4,5 -30,0 kali berat keringnya untuk gambut fibrik, antara 4,5 – 8,5 kali untuk gambut hemik dan < 450 % untuk gambut saprik (Hardjowigeno, 1997). Kondisi hidrofobik pada gambut terdegradasi akibat “*overdrained*” dicirikan dengan perubahan sifat fisika antara lain menurunnya kandungan lengas tanah lapangan dari 370,80 menjadi 53,4 (% volume), meningkatnya berat volume dan ruang pori total (Tabel 2).

Tabel 2. Karakteristik fisik gambut hidrofilik dan hidrofobik

No.	Sifat fisika	Saprik Hidrofilik	Fabrik Hidrofilik	Fabrik Hidrofobik
1.	Kadar lengas lap. (% v)	370,80	510,70	53,40
2.	Berat volume (g.cm ⁻³)	0,30	0,13	0,18
3.	Berat jenis (g.cm ⁻³)	1,57	1,07	1,19
4.	Ruang pori total (%)	83,00	88,00	85,00
5.	Warna dalam Na-pirofosfat skala 10 YR	Coklat gelap 2/2	Coklat terang 5/2	

Sumber : Supriyo dan Maas (2005)

Perubahan kondisi dari hidrofilik menjadi hidrofobik disebabkan sifat *irreversible drying* gambut. Faktor yang menyebabkan terjadinya *irreversible drying* antara lain temperatur, kelembaban udara dan kandungan air sebelum terjadinya *overdrain* (Buczko dan Bens, 2006). Batas kadar air saat munculnya sifat hidrofobik pada gambut ombrogen tergantung pada tingkat kematangan gambut. Pada gambut matang (saprik) persentase kadar air saat munculnya sifat hidrofobik lebih rendah dibanding dengan gambut hemik dan fibrik (Masganti, 2012). Sifat hidrofobik menyebabkan tanah tidak dapat menyerap air kembali, aliran air lateral dipercepat, dan mempercepat pelindian unsur hara. Pada tanah gambut sifat hidrofobik dapat disebabkan beberapa hal yaitu terbentuknya selimut (*coating*) penahan air, berkurangnya gugus hidrofilik, semakin meningkatnya gugus hidrofobik. Bahan gambut yang dianalisis dalam kondisi hidrofobik memberikan nilai yang bias.



Gambar 2. Kondisi gambut hidrofobik (Dok: E. Maftuah)

Volume gambut akan menyusut bila lahan gambut didrainase, sehingga terjadi penurunan permukaan tanah (*subsiden*). Selain karena penyusutan volume, subsiden juga disebabkan oleh adanya proses dekomposisi dan erosi. Dalam 2 (dua) tahun pertama setelah lahan gambut didrainase, laju subsiden bisa mencapai 50 cm. Pada tahun berikutnya laju subsiden sekitar 2 – 6 cm per tahun tergantung kematangan gambut dan kedalaman saluran drainase. Adanya subsiden bisa dilihat dari akar pohon karet dan kelapa yang muncul dan menggantung di atas permukaan tanah (Gambar 3). Subsiden secara tidak langsung juga diakibatkan oleh perubahan kedalaman muka air tanah gambut, seperti pada lokasi pengembangan HTI *A. crassicaarpa* yang menyebabkan laju subsiden sebesar rata-rata 5,5 cm/tahun (Lisnawati *et al.*, 2015). Konversi lahan gambut tropis untuk HTI Acacia dan perkebunan kelapa sawit di lahan gambut di Asia Tenggara menyebabkan subsiden pada 5 (lima) tahun pertama setelah drainase sebesar 142 cm, dimana 75 cm terjadi pada tahun pertama. Setelah lebih 5 (lima) tahun, terjadi penurunan laju subsiden dengan kedalaman muka air tanah 0,7 m tetap konstan sekitar 5 cm/tahun (Hooijer *et al.*, 2012).



(a) Karet

(b) Kelapa

Gambar 3. Subsiden di lahan gambut yang ditanami karet (Dok: E. Maftuah), dan kelapa (Dok. Masganti)

Proses yang mempengaruhi subsiden pada lahan gambut meliputi: oksidasi, pemadatan dan penyusutan, serta konsolidasi (Hooijer *et al.*, 2012). Oksidasi merupakan dekomposisi gambut di zona aerasi yang mengakibatkan hilangnya karbon melalui pelepasan gas CO_2 ke atmosfer (Jauhiainen *et al.*,

2005, 2008.; Hirano *et al.*, 2009), dan pergerakan karbon terlarut dalam air drainase (Alkhatib *et al.*, 2007; Baum *et al.*, 2007; Moore *et al.*, 2011). Proses oksidasi ini tidak meningkatkan *bulk density* gambut. Pemasatan dan penyusutan merupakan pengurangan volume gambut di zona aerasi. Proses ini menyebabkan peningkatan *bulk density* gambut. Proses konsolidasi merupakan proses kompresi gambut di bagian bawah yang jenuh air karena kehilangan daya apung dari gambut bagian atas dan peningkatan ketegangan pada gambut lapisan bawah. Konsolidasi primer disebabkan oleh hilangnya air pada pori-pori gambut, hal itu terjadi dengan cepat ketika tanah didrainase secara berlebihan. Konsolidasi sekunder adalah kompresi yang lambat akibat dari fungsi daya tolak bahan gambut padat. Konsolidasi ini meningkatkan BD gambut (Mesri dan Aljouni, 2007).

Tanah gambut merupakan sekumpulan bahan organik yang terbentuk selama ribuan tahun dan biasanya identik dengan hutan rawa yang selalu terendam (Dommain *et al.*, 2014). Oleh karena itu bila lahan gambut terdegradasi, berpengaruh terhadap biologi tanah tersebut. Terdapat tiga golongan mikroba di dalam tanah gambut, yaitu: (1) golongan *autochthonous*, golongan mikroba yang selalu tetap didapatkan di dalam tanah dan tidak tergantung kepada pengaruh-pengaruh lingkungan luar, (2) golongan *zimogenik*, golongan mikroba yang kehadirannya di dalam tanah diakibatkan oleh adanya pengaruh-pengaruh luar yang baru, dan (3) golongan *transien*, golongan mikroba yang kehadirannya bersamaan dengan adanya penambahan secara buatan. Kelompok mikroba tersebut memiliki peran di tanah terutama dalam proses daur unsur organik yang penting untuk kehidupan seperti daur nitrogen dan daur fosfor.

Bakteri yang terlibat dalam daur nitrogen adalah bakteri penambat nitrogen, sedangkan bakteri yang terlibat dalam daur fosfor adalah bakteri pelarut fosfat. Bakteri penambat nitrogen merupakan bakteri yang berperan dalam penyediaan nitrogen dalam tanah karena mampu menambat nitrat dengan mengoksidasi ion amonium pada tanah, sehingga terikat dengan kuat pada komponen-komponen humus yang menyebabkan nitrat tidak mudah terbilas keluar tanah (Schlegel, 1994). Bakteri pelarut fosfat merupakan bakteri yang berperan dalam penyuburan tanah karena bakteri tipe ini mampu melakukan mekanisme pelarutan fosfat dengan mengekskresikan sejumlah asam organik berbobot molekul rendah seperti oksalat, suksinat, fumarat, dan malat. Asam-asam organik ini akan bereaksi dengan bahan pengikat fosfat seperti Al^{3+} , Fe^{3+} , Ca^{2+} , atau Mg^{2+} membentuk khelat organik

yang stabil sehingga mampu membebaskan ion fosfat terikat dan dapat diserap oleh tanaman (Suriadikarta dan Simanungkalit, 2006).

Gambut mengandung campuran senyawa organik yang memiliki karakteristik berat molekul tinggi seperti asam humik, selulosa, lignin, peptida, dan lemak. Gambut juga memiliki material organik dengan berat molekul rendah seperti asam amino, alkaloid, karbohidrat, dan jenis gula lainnya (Szajdak *et al.*, 2007). Struktur alami dan konfigurasi molekul organik dalam gambut berhubungan dengan kemampuannya dalam menyimpan air (Sokolowska *et al.*, 2005).

Dominasi organik pada gambut yang cenderung jenuh air tidak memungkinkan terbentuknya ikatan organik kompleks. Sebaliknya pada lahan gambut kering, kemampuan meretensi air dan hara sangat rendah. Gambut yang telah terdegradasi menyebabkan perubahan penggunaan lahan atau sebaliknya yaitu penggunaan lahan gambut menyebabkan gambut terdegradasi. Gambut yang telah terdegradasi biasanya terkait dengan drainase menyebabkan dekomposisi gambut menjadi bertambah secara signifikan. Akibatnya kondisi gambut akan berubah menjadi aerobik dan meningkatkan potensial redoks yang secara otomatis meningkatkan kemampuan bakteri dalam mendekomposisikan tanah gambut. Tanah gambut akan kehilangan unsur C dan N akibat mineralisasi C dan N-organik. Pada lingkungan gambut yang reduktif, laju dekomposisi gambut sangat lambat dan banyak dihasilkan asam organik beracun, kadar CH₄, dan CO₂. CH₄ dan CO₂ merupakan gas utama yang menentukan efek rumah kaca atau pemanasan global, oleh sebab itu lahan gambut yang merupakan tempat akumulasi karbon harus dikelola dengan baik agar tidak menjadi penyebab pemanasan global yang akhirnya berpengaruh buruk terhadap kehidupan makhluk hidup (Suriadikarta, 2012).

Produktivitas lahan

Sejalan dengan pertambahan penduduk yang tidak diimbangi dengan kecepatan perluasan areal pertanian menyebabkan pilihan diarahkan pada lahan gambut untuk kepentingan pertanian dan pemukiman penduduk. Penggunaan lahan gambut untuk pertanian akan memberikan sumbangan bagi kelangsungan pertumbuhan ekonomi suatu negara. Tanah gambut merupakan tanah yang baik untuk pertumbuhan tanaman bila ditinjau dari jumlah pori-pori yang berkaitan dengan pertukaran oksigen untuk pertumbuhan akar tanaman. Kapasitas memegang air yang tinggi menyebabkan tanaman bisa berkembang lebih cepat. Akan tetapi dengan keberadaan sifat inheren yang lain V. Degradasi dan Remediasi 455

seperti kemasaman yang tinggi, kejenuhan basa yang rendah dan miskin unsur hara baik mikro maupun makro menyebabkan tanah gambut digolongkan sebagai tanah marginal (Limin *et al.*, 2000). Oleh karena itu diperlukan usaha untuk mengelola tanah tersebut secara baik dan efisien.

Lahan gambut pada awalnya merupakan hutan primer atau sekunder yang kemudian dibuka untuk lahan pertanian. Salah satu cara pembukaan lahan yang lazim dilakukan petani adalah dengan membakar lahan tersebut. Selain cepat, murah dan mudah bagi petani, pembakaran juga merupakan cara tradisional untuk menurunkan tingkat kemasaman tanah gambut. Terjadinya pembakaran bahan organik menjadi abu berakibat penghancuran tanah serta menurunkan permukaan tanah. Pembakaran berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan tanaman pada tahun pertama dan meningkatkan serapan P tanaman, namun menurunkan serapan Ca dan Mg (Mawardi *et al.*, 2001).

Peningkatan produksi hasil pertanian di lahan gambut juga dapat dilakukan melalui pemberian pupuk atau ameliorasi yang tepat (Masganti, 2003). Pemberian pupuk dalam komposisi dan takaran yang tepat dapat mengatasi masalah keheraan dan kemasaman tanah gambut. Unsur hara yang umumnya perlu ditambahkan dalam bentuk pupuk adalah N, P, K, Ca, Mg serta sejumlah unsur hara mikro terutama Cu, Zn dan Mo. Pemberian Cu diduga lebih efektif melalui daun (*foliar spray*) karena sifat sematannya yang sangat kuat, kurang mobil dalam tanaman dan kelarutan yang menurun ketika terjadi peningkatan pH akibat penggenangan. Sebagai amandemen, abu hasil pembakaran gambut itu sendiri akan berpengaruh menurunkan kemasaman tanah, memasok unsur hara dan mempercepat pembentukan lapis olah yang lebih baik sifat fisiknya (Kurnain *et al.*, 2001). Di Sumatera Barat ditemukan bahan amelioran baru Harzburgite yang defositanya cukup besar dan kandungan Mg yang tinggi (27,21–32,07% MgO) yang merupakan bahan potensial untuk ameliorasi lahan gambut (Mawardi *et al.*, 2001).

Pupuk kandang khususnya kotoran ayam dibandingkan dengan kotoran ternak yang lainnya mengandung beberapa unsur hara makro dan mikro tertentu dalam jumlah yang banyak. Kejenuhan basanya tinggi, tetapi kapasitas tukar kation rendah. Kotoran ayam, dalam melepaskan haranya berlangsung secara bertahap dan lama. Tampaknya, pemberian kotoran ayam memungkinkan untuk memperbaiki sifat fisika dan kimia tanah gambut. Dalam budidaya jagung manis, pemberian kotoran ayam sampai 14 ton/ ha pada tanah gambut pedalaman Bereng Bengkel meningkatkan jumlah tongkol (Limin, 1992 *dalam* Darung *et al.*, 2001).AGROEKOLOGI RAWA 456

Pemanfaatan tanah gambut di Indonesia sangat beragam tergantung pengalaman dan pengetahuan masing-masing suku di Indonesia. Misalnya, petani lahan gambut suku Banjar akan lebih memilih tanaman padi daripada sayuran yang menjadi ladang usaha lahan gambut suku Jawa. Sedangkan suku Dayak di Kalimantan Tengah biasanya menanam padi, karet dan atau sagu di lahan gambut (Noor, 2010). Pemanfaatan lahan tersebut sebenarnya lebih kepada kebiasaan daripada pengetahuan, dan biasanya akan berkembang sesuai pengalaman mereka. Degradasi lahan gambut secara langsung akan berpengaruh terhadap produktivitas lahan. Sebenarnya walaupun tidak terdegradasi, tanah gambut merupakan salah satu lahan suboptimal dengan tingkat kesuburan tanah yang rendah. Oleh karena itu diperlukan input teknologi untuk meningkatkan produktivitas lahan. Tingkat kesuburan tanah gambut ini tergantung ketebalan, kematangan, dan kandungan nutrisinya. Apalagi setelah tanah gambut terdegradasi, produksi lahan secara langsung juga akan berkurang.

Lahan gambut yang telah terdegradasi saat ini kebanyakan dibuka kembali untuk lahan perkebunan terutama kelapa sawit dan karet. Komoditas tersebut ditanam karena nilai ekonomi yang cukup tinggi dibandingkan tanaman lainnya. Selain itu, tanaman tersebut juga mudah tumbuh di lahan gambut dengan input yang minimal, terutama untuk tanaman karet. Sebenarnya, hampir semua lahan gambut yang dibuka untuk pertanian adalah lahan gambut yang terdegradasi. Komoditas pertanian yang sangat cocok dan mendekati kondisi lahan alami gambut adalah usaha tanaman sagu (Masganti *et al.*, 2015a). Tanaman ini biasanya memerlukan jumlah air yang cukup banyak dan sesuai dengan kondisi lahan gambut yang identik dengan lahan rawa tergenang. Oleh karena itu, sulit untuk membandingkan hasil produksi lahan gambut alami dan terdegradasi karena komoditas dan input yang diusahakan berbeda.

Penurunan kesuburan tanah gambut akibat degradasi menyebabkan terbatasnya jenis tanaman yang dapat dibudidayakan, bahkan pada kondisi pH yang sangat masam hanya tanaman nanas yang dapat tumbuh (Noor, 2001). Lahan gambut terdegradasi di Provinsi Riau banyak dimanfaatkan untuk tanaman pangan seperti padi, jagung, kedele, tanaman hortikultura baik buah maupun sayuran (Masganti *et al.*, 2014a) dan kelapa sawit (Masganti *et al.*, 2014b)

Meskipun telah dimanfaatkan petani untuk budidaya tanaman, tetapi produktivitasnya tergolong rendah. Kelapa sawit misalnya hanya V. Degradasi dan Remediasi 457

mampu menghasilkan tandan buah segar (TBS) tidak lebih dari 1,0 ton/ ha/bulan, padahal di lahan gambut yang tidak terdegradasi, perusahaan swasta mampu menghasilkan TBS 1,80-2,25 ton/ha/bulan (Masganti *et al.*, 2014a). Oleh karena itu untuk meningkatkan produktivitas lahan disarankan menggunakan amelioran, melakukan tumpangsari dengan tanaman nanas dan melakukan pengelolaan air yang tepat (Masganti *et al.*, 2015a; 2015b), sekaligus untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, dan memperlambat laju subsidiensi gambut.

Pemanfaatan lahan gambut terdegradasi tidak hanya menyebabkan produktivitas tanaman rendah, bahkan dapat menyebabkan gagal panen karena dukungan sumberdaya air yang terbatas. Gambut yang terdegradasi mempunyai kemampuan menyimpan air yang lebih rendah (Masganti, 2012), sehingga dapat membatasi pertumbuhan tanaman dan rentan terhadap serangan organisme pengganggu tanaman. Oleh karena itu untuk menghasilkan bahan pangan yang sama, lahan gambut terdegradasi memerlukan input yang lebih besar (Masganti, 2013).

Lingkungan

Lahan gambut di Negara tropika mempunyai peranan yang sangat penting sebagai salah satu paru-paru dunia. Walaupun luasnya hanya 11% dari luas keseluruhan lahan gambut di dunia, akan tetapi lahan gambut di Negara tropika mengandung sekitar 88,6 Gt stok karbon, dimana 77% nya berada di Asia Tenggara (Page *et al.*, 2011). Akan tetapi alih fungsi lahan dan pengambilan kayu ilegal yang marak terjadi, menyebabkan lahan hutan gambut di Asia Tenggara, terutama di Indonesia dan Malaysia terdegradasi (Miettinen *et al.*, 2012). Degradasi lahan ini membuat hutan primer rawa gambut berubah menjadi hamparan luas hutan sekunder, perkebunan ataupun hanya lahan rumput alang-alang. Penggunaan api untuk pembukaan lahan sangat marak terjadi di lahan gambut Asia Tenggara (Page *et al.*, 2012). Disamping itu, alih fungsi lahan sangat erat kaitannya dengan drainase lahan yang secara langsung mengakibatkan rendahnya tinggi muka air di lahan gambut. Salah satu penyumbang emisi karbon dari lingkungan gambut berasal dari dekomposisi tanah gambut itu sendiri (Hirano *et al.*, 2007).

Menurut Melling *et al.* (2013), dinamika emisi karbondioksida di dalam tanah gambut terdiri dari respirasi akar (*autotrophic respiration*), dekomposisi gambut itu sendiri (*heterotrophic respiration and litter decomposition*), dan emisi karbon yang terlarut dalam air (*dissolved organic carbon*). Dekomposisi

gambut sangat penting untuk diketahui karena berpengaruh besar terhadap keseimbangan karbon yang terjadi di alam sekitar (Hirano *et al.*, 2007). Pengukuran emisi CO₂ secara langsung dari tanah gambut biasanya menggunakan 2 (dua) metode yaitu metode subsidence (pengukuran turunnya tinggi permukaan tanah yang dikombinasikan dengan nilai kandungan karbon dan berat isi tanah gambut), dan metode sungkup tertutup (pengukuran langsung di permukaan tanah gambut) (Jauhiainen *et al.*, 2012; Husnain *et al.*, 2014).

Alih fungsi lahan pada tanah gambut di Indonesia sebagian besar mengeluarkan emisi CO₂ atau dekomposisi gambut yang lebih besar daripada kondisi awal lahan tersebut yaitu hutan primer. Perubahan lahan menjadi perkebunan akasia menyumbang dekomposisi gambut terbesar dibandingkan perubahan lahan yang lain, disusul oleh perkebunan kelapa sawit. Perkebunan akasia menghasilkan dekomposisi gambut paling tinggi karena tanaman ini bisa merubah kondisi dan sifat tanah gambut serta meningkatkan komposisi karbon di dalam tanah dibanding tanaman yang lain (Marchante *et al.*, 2008; Hergoualc'h dan Verchot, 2013). Satu hal yang menarik adalah ternyata tanah yang kosong atau bera tidak menghasilkan dekomposisi tanah gambut yang paling rendah dibanding penggunaan lahan lainnya (Wakhid dan Khairullah, 2016). Hal ini bisa mengandung konsekuensi bahwa lahan gambut yang telah terdegradasi, sebaiknya tetap diusahakan baik untuk pertanian, perkebunan atau dihutankan kembali. Daripada tetap mengeluarkan emisi dan tidak menghasilkan, sebaiknya tetap dipergunakan agar lahan tersebut tetap berguna atau menghasilkan.

Lahan gambut yang habis terbakar ternyata menghasilkan emisi yang rendah, bahkan nilai emisinya lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan lahan awal yaitu hutan primer. Hal ini kemungkinan terjadi karena proses kehilangan lapisan gambut di permukaan tanah, sehingga kandungan gambut menjadi berkurang dan otomatis tinggi muka air tanah akan semakin dangkal atau mendekati permukaan tanah. Kondisi muka air yang mendekati permukaan tanah biasanya akan menghasilkan emisi karbon yang rendah (Hirano *et al.*, 2014).

Selain emisi gas rumah kaca, degradasi lahan gambut juga menyebabkan lahan tersebut menjadi sangat mudah untuk terbakar. Pada musim kemarau, sedikit saja pemicu api di dekat tanah gambut, akan menyebabkan kebakaran lahan yang sangat sulit ditanggulangi. Kebakaran lahan gambut akan merubah lahan alami yang biasanya berfungsi sebagai penyerap karbon.

menjadi penyumbang emisi karbon di udara. Emisi karbon dari gambut yang terbakar sampai sekitar 5.000-30.000 g C m⁻² (Page *et al.*, 2002). Total karbon yang terlepas ke atmosfer pada kebakaran lahan gambut di Indonesia tahun 1997/1998, diestimasi antara 0,8 dan 2,6 Gt C (Page *et al.*, 2002; Langenfelds *et al.*, 2002). Selain itu, kebakaran lahan gambut juga menyebabkan pencemaran udara yang berakibat buruk terhadap kesehatan manusia. Tentu saja, kebakaran juga menyebabkan lahan pertanian menjadi hilang dan mematikan tumbuhan serta mikroorganisme yang hidup di lapisan yang terbakar tersebut. Akibatnya semakin lama dekomposisi alami tanah gambut akan berkurang, dan tanah tersebut akan hilang dari permukaan tanah.

Remediasi dan pemanfaatan gambut terdegradasi

Degradasi lahan gambut menyebabkan perubahan terhadap sifat fisika, kimia, dan biologi gambut. Oleh karena itu untuk “memulihkan” atau menyehatkan kembali lahan gambut diperlukan langkah remediasi. Remediasi merupakan kegiatan yang dilakukan untuk memperbaiki sifat-sifat gambut yang terdegradasi. Remediasi dapat dilakukan dengan beberapa cara seperti pengelolaan air yang tepat (Masganti *et al.*, 2015a; 2015b).

Pengelolaan air gambut terdegradasi dimaksudkan agar dekomposisi bahan organik gambut berlangsung lambat atau minimal. Pada saat yang sama diharapkan dengan ketersediaan air yang cukup dapat mengembalikan kondisi ideal bagi perkembangan mikroorganisme, sehingga dapat mempercepat pemulihan sifat fisik, terutama berkaitan dengan sifat hidrofobik yang dapat menyebabkan efisiensi pemupukan menjadi rendah (Masganti *et al.*, 2002; Masganti, 2012).

Gambut terdegradasi juga dapat diremediasi menggunakan amelioran (Masganti *et al.*, 2014b). Hasil penelitian memperlihatkan bahwa pemberian pupuk organik kotoran ayam dan kotoran sapi, dan pupuk gambut (Pugam) dapat memperbaiki sifat kimia tanah dan memperbaiki pertumbuhan dan hasil kelapa sawit di lahan gambut terdegradasi. Pemberian pupuk organik juga dapat memperbaiki sifat kimia gambut terdegradasi, sehingga meningkatkan hasil tanaman jagung (Hartatik dan Nugroho, 2001).

Bahan remediasi lainnya yang dapat digunakan adalah abu dari sisa pembakaran serasah di sekitar lahan gambut (Masganti, 2003). Dapat juga digunakan lumpur laut yang kaya akan kation-kation basa yang dapat meningkatkan efisiensi pemupukan P. Selain memperhatikan bahan yang digunakan dalam remediasi gambut terdegradasi, perlu juga dilakukan AGROEKOLOGI RAWA 460

dengan menggunakan beberapa bahan. Khasiat dari gabungan bahan tersebut tergantung dari komposisinya (Masganti *et al.*, 2002). Limbah yang dihasilkan dari kelapa sawit berupa tandan kosong dan limbah hasil industri kelapa sawit juga dapat dimanfaatkan untuk bahan remediasi gambut terdegradasi (Masganti, 2009).

Memilih lahan gambut sebagai lumbung pangan masa depan Indonesia merupakan pilihan yang tepat mengingat (1) produktivitas masih rendah, (2) lahan potensial masih luas, (3) indeks pertanaman (IP) masih rendah, (4) lahan terdegradasi yang potensial masih luas, (5) pola produksi bahan pangan bersifat komplementer dengan pola produksi bahan pangan di pulau Jawa, (6) kompetisi pemanfaatan lahan untuk tujuan nonpertanian relatif rendah (Masganti, 2013), dan (7) tersedianya teknologi produksi berbagai komoditas. Oleh karena itu untuk menjamin ketersediaan dan kontinuitas pasokan bahan pangan, dan untuk meningkatkan devisa negara dari sektor pertanian, Kementerian Pertanian dihadapkan pada pilihan menggunakan lahan-lahan suboptimal seperti lahan gambut terdegradasi (Haryono, 2013; Ritung *et al.*, 2015).

Lahan gambut telah lama dimanfaatkan petani sebagai penghasil bahan pangan (Rina dan Noorinayuwati, 2007; Masganti, 2013), tempat konservasi berbagai sumberdaya genetik, sumber penghasilan, dan pemukiman, bahkan sebagai tempat pemakaman. Pengelolaan lahan yang tidak tepat sehingga gambut terdegradasi menyebabkan kapasitas fungsi produksi, fungsi hidrologi, dan fungsi konservasi gambut menjadi berkurang, sehingga produktivitas lahan menjadi turun drastis, banjir pada musim hujan, kekeringan dan kebakaran pada musim kemarau, pendapatan petani berkurang, sehingga banyak lahan yang terlantar (Las *et al.*, 2012; Masganti, 2013),

Menilik luasnya, lahan gambut sangat potensial dimanfaatkan untuk penyedia bahan pangan. Diperkirakan luas lahan gambut di Indonesia sekitar 14,95 juta hektar (Wahyunto *et al.*, 2014). Luas tersebut diperkirakan akan semakin berkurang mengingat adanya kebakaran yang menyebabkan tanah gambut yang awalnya dikategorikan gambut tipis (ketebalan > 50-100 cm) menjadi bergambut (ketebalan \leq 50 cm). Kesalahan manusia dalam pengelolaan lahan seperti membakar lahan, mengelola air, menambang dan menebang pohon menyebabkan terjadinya degradasi. Diperkirakan sekitar 6,66 juta hektar atau 44,60% lahan gambut mengalami degradasi. Luas ini akan semakin bertambah dengan adanya kesalahan manusia dalam mengelola lahannya, apalagi tanpa diimbangi dengan langkah-langkah untuk meminimumkan atau menghambat laju degradasi lahan gambut. V. Degradasi dan Remediasi 461

Degradasi gambut menyebabkan penurunan kapasitas multifungsi gambut. Akan tetapi di lapangan, lahan ini telah dimanfaatkan petani untuk budidaya tanaman pangan (Notohadiprawiro, 2006), perkebunan dan hortikultura (Masganti *et al.*, 2014a; Nursyamsi *et al.*, 2014; Masganti *et al.*, 2015a). Ditaksir sekitar 50% lahan gambut terdegradasi (3,33 juta hektar) telah dimanfaatkan untuk budidaya tanaman perkebunan, tanaman pangan, tanaman hortikultura, dan hutan tanaman industri. Tanaman perkebunan yang dibudidayakan di lahan ini didominasi oleh kelapa sawit, diikuti karet, dan kelapa. Tanaman pangan yang dibudidayakan di lahan gambut terdegradasi meliputi padi, jagung, kedele, ubijalar dan ubikayu. Untuk tanaman hortikultura berupa tanaman buah meliputi nanas, pisang, rambutan, buah naga, cempedak, nangka, jeruk, melon, kedondong, dan belimbing. Sayuran buah yang dibudidayakan di lahan gambut terdegradasi adalah cabai, timun, kecipir, labu dan tomat, sedangkan sayuran daun antaranya kangkung, bayam, sawi, dan selada. Bahkan saat ini sudah mulai dikembangkan bawang merah. Sedangkan tanaman yang dibudidayakan untuk tanaman industri adalah akasia.

Penutup

Lahan gambut mempunyai multifungsi sebagai pengendali banjir dan kekeringan, pengkonservasi berbagai sumberdaya genetik, dan penghasil bahan pangan. Lahan gambut telah lama dimanfaatkan untuk berbagai keperluan oleh petani. Pemilihan lahan gambut sebagai pemasok bahan pangan didasarkan atas pertimbangan (1) produktivitas masih rendah, (2) lahan potensial masih luas, (3) indeks pertanaman (IP) masih rendah, (4) lahan terdegradasi yang potensial masih luas, (5) pola produksi bahan pangan bersifat komplementer dengan pola produksi bahan pangan di pulau Jawa, (6) kompetisi pemanfaatan lahan untuk tujuan nonpertanian relatif rendah, dan (7) tersedianya teknologi produksi berbagai komoditas.

Kesalahan dalam pemanfaatannya seperti pembakaran lahan, pengelolaan air yang salah, penambangan, dan penebangan pohon menyebabkan gambut terdegradasi. Kriteria gambut terdegradasi meliputi (a) bila penutupan vegetasinya didominasi oleh semak belukar, kadar karbon permukaan tanah gambut $< 35 \text{ t ha}^{-1}$, atau (b) merupakan lahan terbuka bekas tambang. Sedangkan indikatornya meliputi (1) sudah ada penebangan pohon, (2) ada jalan *logging*, (3) ada bekas kebakaran, (4) kondisi lahan kering/tidak tergenang, dan (5) adanya bekas penambangan.

Degradasi lahan menyebabkan penurunan terhadap kesuburan tanah, produktivitas lahan, jenis tanaman yang dibudidayakan, daya konservasi kawasan air, jumlah dan populasi mikroorganisme, dan meningkatnya pencemaran air, tanah, dan udara, sehingga kapasitas fungsi hidrologi, fungsi konservasi, dan fungsi produksi menjadi berkurang, menyebabkan lahan gambut menjadi terlantar.

Diperkirakan luas lahan gambut Indonesia mencapai 14,95 juta hektar yang diramalkan semakin berkurang karena aktivitas manusia, sementara luas lahan gambut yang terdegradasi ditaksir mencapai 6,66 juta hektar akan terus bertambah.

Remediasi perlu dilakukan untuk memulihkan atau memperbaiki sifat gambut. Remediasi dapat dilakukan melalui (1) pengelolaan air, (2) penggunaan pupuk kandang dan Pugam, (3) penggunaan abu gambut dan lumpur laut, dan (4) pemanfaatan limbah kelapa sawit.

Daftar Pustaka

- Adi Jaya., J. O. Rieley, T. Artiningsih, Y. Sulistiyanto, dan Y. Jagau. 2001. Utilization of deep tropical peatland for agriculture in Central Kalimantan, Indonesia. Hlm:125-131. *Dalam* Rieley, J. O., dan S. E. Page (Eds.). Jakarta Symp. Proc. on Peatlands for People: Nat. Res. Func. and Sustain. Management.
- Agus, F., A. Mulyani, A. Dariah, Wahyunto, Maswar, and E. Susanti. 2012. Peat maturity and thickness for carbon stock estimation. *Proceedings, 14th International Peat Congress, 3-8 June 2012, Stockholm, Sweden.*
- Agus, F., Wahyunto, H. Sosiawan, I.G.M. Subiksa, P. Setyanto, A. Dariah, Maswa, N. L. Nurida, Mamat, I. Las, 2014. Pengelolaan berkelanjutan lahan gambut terdegradasi: Trade-off keuntungan ekonomi dan aspek lingkungan. *Dalam* Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi untuk Mitigasi Emisi GRK dan Peningkatan Nilai Ekonomi. BBSDLP. Bogor.
- Agustina, S. E. R., B. M. Rachmawati, dan Sustiyah. 2001. Inventarisasi micoriza vesicular arbuskula (MVA) pada tanah gambut Kalimantan Tengah. *J. Agri Peat* 2(2):46-52.
- Alkhatib, M., T. C. Jennerjahn, and J. Samiaji. 2007. Biogeochemistry of the Dumai river estuary, Sumatra, Indonesia, a tropical blackwater river. *Limnol. Oceanogr.* 52:2410–2417.
- Anshari, G. Z. 2010. A preliminary assessment of peat degradation in West Kalimantan. *Biogeosciences Discuss.* 7:3503-3520.
- Anshari, G. Z., M. Afifudin, M. Nuriman, E. Gusmayanti, L. Arianie, R. Susana, R. W. Nusantara, J. Sugardjito, and A. Rafiastanto. 2010. Drainage and land use impacts on changes

- in selected peat properties and peat degradation in West Kalimantan Province, Indonesia, *Biogeosciences* 7:3403–3419.
- Ballhorn, U., F. Siegert, M. Mason, and S. Limin. 2009. Derivation of burn scar depths and estimation of carbon emissions with LIDAR in Indonesian peatlands. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 106:21213–21218.
- Bappenas. 2009. Reducing carbon Emission for Indonesian peatland. Intern Report of Multi Diciplinary Study. Indonesian National Development Planning-Bappenas Republic of Indonesia.
- Baum, A., T. Rixen, and J. Samiaji. 2007. Relevance of peat draining rivers in central Sumatra for the riverine input of dissolved organic carbon into the ocean, Estuar. *Coast. Shelf S.* 73:63–570.
- Buczko, U. and O. Bens. 2006. Assessing soil hydrophobicity and its variability through the soil profile using two different methods. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:718-727.
- Chorover, J., M. K. Amistadi, W. D. Burgos, and P. G. Hatcher, 1999. Quinoline sorption on kaolinite-humic acid complexes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:850–857
- Darung, U. Mimbar, dan S. M. Syekhfani. 2001. Pengaruh waktu pemberian kapur dan pupuk kandang terhadap pertumbuhan dan hasil panen kedelai pada tanah gambut pedalaman Kalimantan Tengah. *Buletin Biosain* 1(2):99-113.
- Dent, D. 1986. Acid sulphate soils. A base line for research and development. Publication No. 39 ILRI. Wageningen. The Netherlands.
- Dommain, R., J. Couwenberg, P. H. Glaser, H. Joosten, dan I. N. N. Suryadiputra. 2014. Carbon storage and release in Indonesian peatlands since the last deglaciation. *Quaternary Science Reviews* 97:1–32.
- Fahmi, A. 2012. Saling Tindak Tanah Gambut dan Substratum Bahan Sulfidik serta Pengaruhnya Terhadap Sifat Kimia Tanah. *Disertasi*. Program Pascasarjana Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada. 212 hlm.
- Hardjowigeno, S. 1997. Pemanfaatan gambut berwawasan lingkungan. *Alami* 2(1):3-6.
- Hartatik, W., dan K. Nugroho. 2001. Effect of different ameliorant sources to maize growth in peat soil from Air Sugihan Kiri, South Sumatera. Hlm. 103-108. *Dalam* Rieley, J. O., dan S. E. Page (Eds.). Jakarta Symposium Proceeding on Peatlands for People: Natural Resources Functions and Sustainable Management.
- Haryono. 2013. Strategi Kebijakan Kementerian Pertanian dalam Optimalisasi Lahan Sub Optimal Mendukung Ketahanan Pangan Nasional. Seminar Nasional Intensifikasi Lahan Sub Optimal dalam Rangka Mendukung Kemandirian Pangan Nasional. Palembang, 20-21 September 2013. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Jakarta. 11 hlm.
- Hergoualc’h, K., and L. V. Verchot. 2013. Greenhouse gas emission factors

- for land use and land-use change in Southeast Asian peatlands. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang.* 19:789–807.
- Hirano T., H. Segah, T. Harada, S. Limin, T. June, R. Hirata, and M. Osaki. 2007. Carbon dioxide balance of a tropical peat swamp forest in Kalimantan, Indonesia. *Global Change Biology* 13:412–425.
- Hirano, T., T. Jauhiainen, T. Inoue, and H. Takahashi. 2009. Controls on the carbon balance of tropical peatlands. *Ecosystems* 12:873–887.
- Hirano, T., K. Kusin, S. Limin, and M. Osaki. 2014. Carbon dioxide emissions through oxidative peat decomposition on a burn tropical peatland. *Glob. Chang. Biol.* 20:555–65.
- Hooijer, A., M. Silvius, H. Wosten, and S. E. Page. 2006. Peat CO₂: Assessment of CO₂ emissions from drained peatlands in SE Asia. Delft Hydraulics report Q3943. Delft Hydraulics, Delft, Netherlands.
- Hooijer, A., S. E. Page, J. G. Canadell, M. Silvius, J. Kwadijk, W. H. "sten, and J. Jauhiainen. 2010. Current and future CO₂ emissions from drained peatlands in Southeast Asia. *Biogeosciences* 7:1505–1514.
- Hooijer, A., S. E. Page, J. Jauhiainen, W. Lee, Idris, and G. Anshari. 2012. Subsidence and carbon loss in drained tropical peatlands. *Biogeosciences* 9:1053–1071.
- Husnain, H., I. G. P. Wigena, A. Dariah, S. Marwanto, P. Setyanto, and F. Agus. 2014. CO₂ emissions from tropical drained peat in Sumatra, Indonesia. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang* 19:845–862..
- Jauhiainen, J., H. Takahashi, J. E. P. Heikkinen, P. J. Martikainen, and H. Vasander. 2005. Carbon fluxes from a tropical peat swampforest floor, *Glob. Change Biol* 11:1788–1797.
- Jauhiainen, J., S. Limin, H. Silvennoinen, and H. Vasander. 2008. Carbon dioxide and methane fluxes in drainage affected tropical peat before and after hydrological restoration, *Ecology* 89:3503– 3514.
- Jauhiainen, J., A. Hooijer, and S. E. Page. 2012. Carbon dioxide emissions from an Acacia plantation on peatland in Sumatra, Indonesia. *Biogeosciences* 9:617–630,
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2012. Strategi Nasional Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan di Indonesia. Deputi Bidang Pengendalian Kerusakan Lingkungan dan Perubahan Iklim. Jakarta. 50 hlm.
- Konsorsium PETUAH (Perguruan Tinggi Untuk Indonesia Hijau), 2017. Strategi Revegetasi dengan Spesies Indigen dalam Konteks 3R Aksi Restorasi Lahan Gambut. Pengetahuan Hijau Berbasis Kebutuhan dan Kearifan Lokal untuk Mendukung Pembangunan Berkelanjutan. Policy Brief. CoE PLACE PB No. 11 – Februari 2017.
- Kurnain, A., T. Notohadikusumo, B. Radjagukguk, dan S. Hastuti. 2001. The state of decomposition of tropical peat soil under cultivated and fire damage peatland. Hlm:168-178. *Dalam* Rieley, dan Page (*Eds.*). Jakarta Symposium Proceeding on Peatlands for People: Natural Resources Functions and Sustainable Management.

- Langenfolds, R. L., R. J. Francey, B. C. Pak, L. P. Steele, J. Lloyd, C. M. Trudinger, and C. E. Allison. 2002. Interannual growth rate variations of atmospheric CO₂ and its $\delta_{13}\text{C}$, H₂, CH₄, and CO between 1992 and 1999 linked to biomass burning, *Global Biogeochemical Cycles* 16:1029-1048.
- Las, I., M. Sarwani, A. Mulyani, dan M. F. Saragih. 2012. Dilema dan rasionalisasi kebijakan pemanfaatan lahan gambut untuk areal pertanian. Hlm:17-29. *Dalam Husen et al.* (Eds.). Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan. Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian.
- Leinweber P., H. R. Schulten, K. Kalbitz, R. Meibner, H. Jancke. 2001. Fulvic acid composition in degraded fenlands. *Journal of Plant Nutrient and Soil Science* 164(4):2-9.
- Limin, S., Layuniati, dan Y. Jamal. 2000. Utilization of inland peat for food crop commodity development requires high input and is detrimental to peat swamp forest ecosystem. Proc. International Symposium on Tropical Peatlands 22-23 November 1999. Bogor-Indonesia.
- Lisnawati Y., H. Suprijo, E. Poedjirahajoe dan Musyafa. 2015. Dampak pembangunan hutan tanaman industri *Acacia crassicarpa* di lahan gambut terhadap tingkat kematangan dan laju penurunan permukaan tanah. *J. Manusia dan Lingkungan* 22(2):179-186.
- Marchante, F., Kjølner A , Struwe S , dan H. Freitas. 2008. Short- and long-term impacts of *Acacia longifolia* invasion on the belowground processes of a mediterranean coastal dune ecosystem. *Applied Soil Ecology* 40:210-217.
- Masganti, T. Notohadikusumo, A. Maas, dan B. Radjagukguk. 2002. Efektivitas dan pemupukan P pada tanah gambut. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan* 3(2):38-48.
- Masganti. 2003. Kajian Upaya Meningkatkan Daya Penyediaan Fosfat dalam Gambut Oligotrofik. *Disertasi*. Program Pascasarjana UGM, Yogyakarta. 355 hlm.
- Masganti. 2009. Pemanfaatan limbah kelapa sawit dan produktivitas kelapa sawit di lahan kering Kalimantan Tengah. *Agripura* 4(2):529-535.
- Masganti. 2012. Sample preparation for peat material analysis. Hlm:179- 184. *Dalam Husein et al.* (Eds.). Prosiding Workshop on Sustainable Management Lowland for Rice Production.
- Masganti. 2013. Teknologi inovatif pengelolaan lahan suboptimal gambut dan sulfat masam untuk peningkatan produksi tanaman pangan. *Pengembangan Inovasi Pertanian* 6(4):187-197.
- Masganti, Wahyunto, A. Dariah, Nurhayati, dan Rachmiwati. 2014a. Karakteristik dan potensi pemanfaatan lahan gambut terdegradasi di Provinsi Riau. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 8(1):47-54.
- Masganti, I. G. M. Subiksa, Nurhayati, dan W. Syafitri. 2014b. Respon tanaman tumpang Sari (sawit+nanas) terhadap ameliorasi dan pemupukan di lahan gambut terdegradasi. Hlm:117-132. *Dalam Wihardjaka et al.* (Eds.). Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan

- Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi untuk Mitigasi GRK dan Peningkatan Nilai Ekonomi. Balitbangtan, Kemtan.
- Masganti, M. Alwi, dan Nurhayati. 2015a. Pengelolaan air untuk budidaya pertanian di lahan gambut: kasus Riau. . Halaman:62-87. *Dalam* Noor, M. *et al.* (Eds.). Pengelolaan Air di Lahan Rawa Pasang Surut: Optimasi Lahan Mendukung Swasembada Pangan. IAARD Press, Badan Litbang, Jakarta.
- Masganti, Nurhayati, Rachmiwati Yusuf, dan Hery Widyanto. 2015b. Teknologi ramah lingkungan dalam budidaya kelapa sawit di lahan gambut terdegradasi. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 9(2): 99-108.
- Mawardi, E., A. Maas dan A. Tambidjo. 2001. Potensi dan peluang pemanfaatan harzeburgite sebagai amelioran lahan gambut. Prosiding Seminar Nasional Memantapkan Rekayasa Paket Teknologi Pertanian dan Ketahanan Pangan dalam Era Otonomi Daerah, 31 Oktober–1 November 2001. Bengkulu.
- Meiling, L., and K. J. Goh. 2008. Sustainable Oil Palm Cultivation on Tropical Peatland. Tropical Peat Research Laboratory & Applied Agricultural Resources. Kuala Lumpur.
- Melling, L., C. S. Yun Tan, K. J. Goh, and R. Hatano. 2013. Soil microbial and root respirations from three ecosystems in tropical peatland of sarawak, Malaysia. *J. Oil Palm Res* 25:44–57.
- Mesri, G., and M. Aljouni. 2007. Engineering properties of fibrous peats, *J. Geotech. Geoenviron* 133: 850–866.
- Miettinen, J., A. Hooijer, C. Shi, D. Tollenaar, R. Vernimmen, S. C. Liew, C. Malins, and S. E. Page. 2012. Extent of industrial plantations on Southeast Asian peatlands in 2010 with analysis of historical expansion and future projections. *GCB Bioenergy* 4:908-918.
- Moore, S., V. Gauci, C. D. Evans, and S. E. Page. 2011. Fluvial organic carbon losses from a Bornean blackwater river, *Biogeosciences* 8:901–909.
- Noor, M. 2001. Pertanian Lahan Gambut: Potensi dan Kendala. Kanisius. Yogyakarta. 174 hlm.
- Noor, M. 2010. Lahan Gambut: Pengembangan, Konservasi dan Perubahan Iklim. Gajah Mada University Press, Yogyakarta. 212 hlm.
- Notohadiprawiro, T. 1988. Penciri gambut di Indonesia untuk inventarisasi. Bahan Kongres I HGI dan Sem. Nas.Gambut I. Yogyakarta, 9-10 September 1988. 18 hlm.
- Notohadiprawiro, T. 2006. Etika pengembangan lahan gambut untuk pertanian tanaman pangan. Lokakarya Pengelolaan Lingkungan dalam Pengembangan Lahan Gambut. Badan Pengendalian Dampak Lingkungan (BAPEDAL) Kalimantan Tengah. Palangkaraya. 24 hlm.
- Nursyamsi, D., S. Raihan, M. Noor, K. Anwar, M. Alwi, E. Maftuah, I. Khairullah, I. Ar-Riza, R. S. Simatupang, Noorinayuwati, dan Y. Rina. 2014. Buku Pedoman Pengelolaan Lahan Gambut untuk Pertanian

- Berkelanjutan. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Kementerian Pertanian. IAARD Press. Jakarta. 72 hlm.
- Page, S. E., F. Siegert, J. O. Rieley, H. D. V. Boehm, A. Jaya, and S. Limin. 2002. The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. *Nature* 420:61–65.
- Page, S. E., J. O. Riely and R. Wurst. 2006. Lowland tropical peatlands of Southeast Asia. Hlm. 145-172. *Dalam: I. P Martini. A. M Cortizas and W. Chesworth (Eds.). Peatlands; Evolution and Records of Enviromental and Climate Changes. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.*
- Page, S. E.,** A. Hoscilo, H. Wosten and J. Jauhiainen. 2009. Restoration ecology of lowland tropical peatlands in Southeast Asia—Current knowledge and future research directions. *Ecosystems* 12:888–905.
- Page, S. E., J. O. Rieley, and C. J. Banks. 2011. Global and regional importance of the tropical peatland carbon pool. *Global Change Biology* 17(2):798–818.
- Page, S. E., F. Siegert, J. O. Rieley, H. D. V. Boehm, A. Jaya, and S. Limin. 2012. The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. *Nature* 420:61–65.
- Rieley, J. O., S. E. Page, dan B. Setiadi. 1996. Distribution of peatlands in Indonesia. Hlm:169-177. *Dalam. Lappalainen, E. (Ed.). Global Peat Resources. International Peat Society, Findland.*
- Rieley, J. O., dan B. Setiadi. 1997. Role of tropical peatlands in global carbon balance: preliminary finding from the peats of Central Kalimantan, Indonesia. *Alami* 2(1): 52-56.
- Rina, Y. dan Noorginayuwati. 2007. Persepsi petani tentang lahan gambut dan pengelolaannya. Hlm: 95-107. *Dalam Muhlis et al. (Eds). Kearifan Lokal Pertanian di Lahan Rawa. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor.*
- Ritung, S., Wahyunto, K. Nugroho, Sukarman, Hikmatullah, Suparto dan C. Tafakresnanto. 2011. Peta Lahan Gambut Indonesia Skala 1:250.000. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor.
- Ritung, S., Wahyunto, K. Nugroho, Sukarman, Hikmatullah, Suparto dan C. Tafakresnanto. 2015. Sumberdaya Lahan Pertanian Indonesia: Luas, Penyebaran dan Potensi Ketersediaan. Indonesian Agency for Agricultural Research and Development (IAARD) Press. 100 hlm.
- Sarwani, M. 2003. Kebijakan pemanfaatan lahan terdegradasi di lahan rawa pasang surut. Makalah Sintesis Kebijakan Pengelolaan Sumberdaya Lahan untuk Mendukung Pembangunan Pertanian. Puslitbangnak, Bogor.
- Sarwani, M., Masganti, dan D. Irwandi. 2006. Pedoman Pengelolaan Lahan Gambut. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Kalteng. Palangka Raya. 32 hlm.

- Schlegel, H. G. 1994. Mikrobiologi Umum. Penerjemah Tedjo Baskoro. Edisi keenam. Gajah Mada University Press. Yogyakarta. 688 hlm.
- Smith, S. M., S. Newman, P. B. Garrett, and J. A. Leeds. 2001. Differential effect of surface and peat fire on soil constituents in a degraded wetland of the Northern Florida Everglades. *J. Environ. Qual* 30:1998-2005.
- Soil Survey Staff. 2010. Keys to Soil Taxonomy. Eleventh Edition. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Services. USDA. Washington D. C. 869 hlm.
- Sokołowska, Z., L. Szajdak, dan D. Matyka-Sarzyńska. 2005. Impact of the degree of secondary transformation on acid-base properties of organic compounds in mucks. *Geoderma* 127:80–90.
- Supriyo, A. and A. Maas 2005. Leaching impact on chemical properties of different reclamation stage of ombrogenous peat. Paper Presented at International Symposium and Workshop Restoration and Wise Use of Tropical Peatland: “Problem of Biodiversity Fire, Poverty and Water Management” held in Palangkarya, at Sep 21–24, 2005.
- Suriadikarta, D. A., dan Simanungkalit. 2006. Pendahuluan: Buku Pupuk Organik dan Pupuk Hayati. Hlm:1-9. Dalam Simanungkalit, R. D. M., dan D. A. Suriadikarta, R. Saraswati, D. Setyorini, dan W. Hartatik (Eds.). Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor.
- Suriadikarta, D. A. 2012. Teknologi pengelolaan lahan gambut berkelanjutan. *Jurnal Sumberdaya Lahan Pertanian* 6(2):197-211.
- Szajdak, L., Brandyk, T. and J. Szatyłowicz. 2007. Chemical properties of different peat-marsh soils from the Biebrza River Valley. *Agronomy Research* 5:165-174.
- Tan, K. H. 1994. Environmental Soil Science. Marcel Dekker Inc., New York. 304 hlm.
- Tim Sintesis Kebijakan. 2008. Pemanfaatan dan Konservasi Ekosistem Lahan Rawa Gambut di Kalimantan. *Pengembangan Inovasi Pertanian* 1(2), 2008:149-156.
- Utami, S. N. H., A. Maas, B. Radjagukguk, dan B. H. Purwanto. 2009. Sifat fisik, kimia dan FTIR Spektrofotometri gambut hidrofobik Kalimantan Tengah. *Jurnal Tanah Tropika* 12(2):159-166.
- Van Mensvoort, M.E.F. and D.L. Dent. 1998. Acid Sulphate Soil. p.301-337. In Lal, R., W.H., Blum, C. Valentine, and B.A. Steward (ed). Method for Assessment of Soil Degradation. Florida. CRC Press LLC.
- Wakhid, N., dan I. Khairullah. 2016. Dekomposisi gambut terkait perubahan lahan di Indonesia. Proceeding Seminar Lahan Suboptimal oleh Himpunan Masyarakat Gambut (HGI). 26-28 Oktober 2016. Bogor
- Wahyunto, S. Ritung, K. Nugroho, Y. Sulaeman, Hikmatullah, C. Tafakresnanto, Suparto dan Sukarman. 2013. Atlas Lahan Gambut Terdegradasi di Pulau Sumatera Skala 1:250.000. Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian.

- Wahyunto, K. Nugroho, S. Ritung, and Y. Sulaiman. 2014. Indonesian peatland map: method, certainty, and uses. Hlm:81-96. *Dalam* Wihardjaka *et al.* (Eds.). Prosiding Seminar Nasional: Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi untuk Mitigasi GRK dan Peningkatan Nilai Ekonomi. Balitbangtan, Kemtan. Jakarta.
- Welch, D. N., and M. A. M. Nor. 1989. Drainage works on peat in relation to crop cultivation. A review problem. Proc of the National Seminar on Soil Management for food and fruit crop production. Kuala Lumpur. pp: 96-110
- Wibowo, A. 2009. Peran lahan gambut dalam perubahan iklim global. *Jurnal Tekno Hutan Indonesia* 2(1):19-28.
- World Resources Institute. 2012. How to Indetify Degraded Land for Sustainable Palm Oil in Indonesia. WRI-Sekala Working Paper, April 2012. World Resources Institute. Woshington D. C-USA.
- Wosten, J. H. M., E. Clymans, S. E. Page, J. O. Rieley, and S. H. Limin. 2008. Peat-water interrelationships in a tropical peatland ecosystem in Southeast Asia. *Catena* 73:212-224.