

PEMULIHAN DAN KONSERVASI LAHAN GAMBUT

Eni Maftuah dan Siti Nurzakiah

Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa (Balittra)

Jl. Kebun Karet, Loktabat Utara, Kotak Pos 31, Banjarbaru 70712

Email: eni_balittra@yahoo.com

Ringkasan

Degradasi lahan gambut di Indonesia umumnya diakibatkan oleh kegiatan pembukaan lahan, pembuatan saluran drainase serta pengelolaan lahan yang tidak berdasarkan Kesatuan Hidrologi Gambut (KHG), sehingga daya dukung ekosistem gambut menurun. Degradasi lahan gambut berdampak terhadap penurunan fungsi lahan gambut, terutama fungsi lingkungan yaitu; menurunnya cadangan air, mudahnya gambut terbakar, meningkatnya emisi GRK, menurunnya cadangan karbon, menurunnya keanekaragaman biodiversitas baik flora, fauna maupun mikroorganisme tanah. Upaya pemulihan lahan gambut yang terdegradasi dimaksudkan untuk mengembalikan nilai, fungsi, dan manfaat ekosistem gambut termasuk upaya pencegahan kerusakan lahan, memberikan perlindungan, dan memperbaiki ekosistem. Pemulihan lahan gambut dapat dilakukan melalui remediasi, rehabilitasi dan restorasi. Konservasi ekosistem gambut bertujuan untuk melindungi kawasan gambut agar tetap berfungsi sebagaimana mestinya. Pemulihan ekosistem lahan gambut yang telah terdegradasi dan upaya konservasi lahan gambut pada zona konservasi diperlukan untuk menjaga keseimbangan ekosistem gambut, bukan hanya pada daerah gambut tapi juga pada kawasan di sekitarnya. Teknologi rehabilitasi lahan gambut terdegradasi dimaksudkan untuk mempercepat upaya pemulihan lahan agar dapat kembali berfungsi secara ekologi maupun sosial ekonomi. Teknologi rehabilitasi lahan gambut terdegradasi meliputi pengelolaan air, persiapan lahan, pemilihan jenis tanaman, ameliorasi, dan sistem agroforestri.

Pendahuluan

Tanah gambut tersusun dari material organik yang terbentuk secara alami dari sisa-sisa tumbuhan yang terdekomposisi tidak sempurna dan terakumulasi pada rawa. Ekosistem gambut adalah tatanan unsur gambut yang merupakan satu kesatuan utuh dan menyeluruh yang saling mempengaruhi dalam membentuk keseimbangan, stabilitas, dan produktivitasnya. Peran lahan gambut dalam ekosistem bersifat multifungsi

yaitu fungsi produksi, fungsi lingkungan (penyimpan air, habitat flora dan fauna) dan fungsi sosial. Kondisi biofisik lahan gambut khas dan sangat berbeda dengan tanah mineral, dan sangat rentan terhadap usikan atau gangguan. Kestabilan ekosistem gambut akan terganggu jika lahan gambut mengalami usikan (Notohadiprawiro, 1997).

Lahan gambut sebagai ekosistem merupakan bagian dari lingkungan lokal, regional bahkan global. Dampak pengembangan lahan gambut tidak hanya dapat mengenai gambut itu sendiri, tapi juga lingkungan secara luas. Lahan gambut di Indonesia saat ini diprediksi luasnya mencapai 14,90 juta hektar yang tersebar di Sumatera 6,44 juta hektar (43 %), Kalimantan 4,78 juta ha (32 %) dan Papua 3,69 juta hektar (25 %) (Ritung *et al.*, 2011). Namun sekitar 4,4 juta hektar dari luasan lahan gambut tersebut telah terdegradasi (Agus *et al.*, 2014).

Degradasi lahan gambut di Indonesia umumnya diakibatkan oleh kegiatan pembukaan lahan, pembuatan saluran drainase serta pengelolaan lahan yang tidak berdasarkan Kesatuan Hidrologi Gambut (KHG), sehingga daya dukung ekosistem gambut menurun. Praktek penebangan liar, perambahan, kebakaran lahan gambut, pembuatan saluran drainase di lahan gambut yang tidak diperhitungkan dengan baik, lemah dan kurangnya kesadaran dan pengertian masyarakat akan fungsi manfaat hutan rawa gambut, masih lemahnya penegakan hukum (*law enforcement*) serta masih lemahnya kebijakan dan pengelolaan hutan rawa gambut mempercepat kerusakan lahan gambut.

Drainase lahan gambut memberikan dampak terhadap sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Perubahan karakteristik gambut disebabkan keseimbangan alamiah berubah dari suasana reduktif menjadi oksidatif. Saluran drainase menyebabkan muka air tanah menurun sesuai dengan dimensi saluran drainase yang dibuat, sehingga lapisan atas gambut menjadi aerobik. Perubahan kondisi ini meningkatkan aktivitas mikroorganisme yang terlibat dalam proses dekomposisi gambut. Dekomposisi gambut akan menghasilkan emisi karbon serta subsidensi. Pembuatan saluran drainase yang tidak sesuai KHG, dapat mempercepat pengeringan gambut sehingga gambut rentan kebakaran. Kebakaran lahan berdampak terhadap lingkungan dan biofisik lahan yaitu pelepasan asap, CO₂, peningkatan suhu tanah dan udara dan kerusakan habitat flora dan fauna. Pembukaan dan pembuatan saluran-saluran pada areal gambut menyebabkan penurunan muka air dan kedalaman gambut secara drastis dan menimbulkan dampak yang serius bagi daur ekosistem yang selama ini sudah terjaga dan menjaga dengan baik. AGROEKOLOGI RAWA 472

Pembuatan saluran drainase yang dalam di lahan gambut diperlukan untuk perkebunan kelapa sawit dan budidaya Acacia (Miettinen *et al.*, 2012; Masganti *et al.*, 2015), sehingga laju oksidasi akan semakin meningkat dan subsiden menjadi cepat (Hooijer *et al.*, 2012; Jauhiainen *et al.*, 2012). Seperti yang terjadi di Sarawak, sebagian besar rawa gambut pesisir telah dimanfaatkan untuk perkebunan kelapa sawit, mengakibatkan subsiden sehingga menyebabkan hilangnya lebih dari 10 persen dari luas lahan keseluruhan. Selain itu, pengurangan pasokan air tawar akibat deforestasi dan drainase menyebabkan daerah pesisir dengan tanah mineral lebih rentan terhadap gangguan kekeringan dan intrusi air laut. Hal ini akan mengurangi kelayakan pertanian di wilayah ini, yang memiliki tanah sulfat masam (Silvius *et al.*, 2000). Subsiden juga meningkatkan risiko banjir apalgi saat permukaan air laut meningkat (Cruz *et al.*, 2007), dan kebakaran pada musim kemarau (Masganti *et al.*, 2014).

Degradasi lahan gambut berdampak terhadap penurunan fungsi lahan gambut, terutama fungsi lingkungan yaitu; menurunnya cadangan air, mudahnya gambut terbakar, meningkatnya emisi GRK, menurunnya cadangan karbon, menurunnya keanekaragaman biodiversitas baik flora, fauna maupun mikroorganisme tanah. Upaya pemulihan ekosistem gambut diperlukan untuk memperbaiki kondisi gambut agar berfungsi baik sebagai media tumbuh tanaman (fungsi lokal), maupun fungsi lingkungan yang mempengaruhi kawasan regional.

Pemulihan fungsi ekosistem lahan gambut adalah aktivitas yang dilakukan untuk mengembalikan sifat dan fungsi ekosistem gambut sesuai sifat dan fungsi semula, baik melalui remediasi, restorasi maupun rehabilitasi. Remediasi lahan gambut terdegradasi yaitu upaya pemulihan kondisi lahan untuk memperbaiki mutu atau kualitas lahan gambut. Remediasi lahan gambut terkait fungsinya sebagai media tumbuh tanaman bertujuan untuk memperbaiki kesuburan tanah gambut, karena umumnya kesuburan tanah gambut yang terdegradasi lebih rendah. Upaya remediasi terutama diperlukan untuk mendukung fungsi lahan gambut sebagai sumberdaya yang dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat sekitar.

Rehabilitasi yaitu upaya pemulihan untuk mengembalikan nilai, fungsi, dan manfaat ekosistem gambut termasuk upaya pencegahan kerusakan lahan, memberikan perlindungan, dan memperbaiki ekosistem. Rehabilitasi kawasan gambut ditujukan untuk memulihkan sumberdaya kawasan gambut yang rusak, sehingga berfungsi optimal dalam memberikan manfaat V. Degradasi dan Remediasi 473

ekologi, ekonomi dan sosial kepada seluruh pihak yang berkepentingan, mengelola sumberdaya air, dan mengembangkan kelembagaan yang berbasis sumberdaya kawasan gambut. terutama pada gambut yang telah terdegradasi agar fungsi dan peran lahan gambut menjadi baik kembali.

Restorasi adalah upaya pemulihan untuk menjadikan ekosistem gambut atau bagian-bagiannya berfungsi kembali sebagaimana semula. Restorasi ekosistem gambut bertujuan untuk mengembalikan fungsi hidrologis dan ekologis gambut maupun meningkatkan produktivitasnya sehingga fungsi ekosistem gambut pulih kembali.

Konservasi ekosistem gambut bertujuan untuk melindungi kawasan gambut agar tetap berfungsi sebagaimana mestinya. Wilayah gambut yang harus dikonservasi adalah lahan gambut dengan ketebalan > 3 m dan kubah gambut. Sebagian zona ini menjadi hutan sekunder dan mengalami kerusakan dengan berbagai tingkat dari kerusakan ringan sampai berat. Kawasan konservasi dimaksudkan untuk menjaga dan memelihara keseimbangan lingkungan hidup, baik sebagai reservoir air dan *carbon storage*, antisipasi terhadap perubahan iklim maupun melindungi keanekaragaman hayati. Perlindungan terhadap kubah gambut dilakukan untuk mengendalikan hidrologi wilayah, berfungsi sebagai penambat air dan pencegah banjir, serta melindungi ekosistem yang khas di kawasan tersebut. Kubah gambut dengan ketebalan lebih dari 3 m merupakan satu kesatuan dengan bagian tepinya yang dangkal (ketebalan kurang dari 3 m). Kerusakan gambut pada wilayah ini akan berdampak terhadap kelestarian kawasan konservasi dan produktivitas dalam kawasan budidaya.

Pemulihan ekosistem lahan gambut yang telah terdegradasi dan upaya konservasi lahan gambut pada zona konservasi diperlukan untuk menjaga keseimbangan ekosistem gambut, bukan hanya untuk daerah gambut tapi juga terhadap kawasan disekitarnya. Tulisan ini menjelaskan tentang pentingnya pemulihan dan konservasi lahan gambut serta teknologi untuk rehabilitasi lahan gambut terdegradasi.

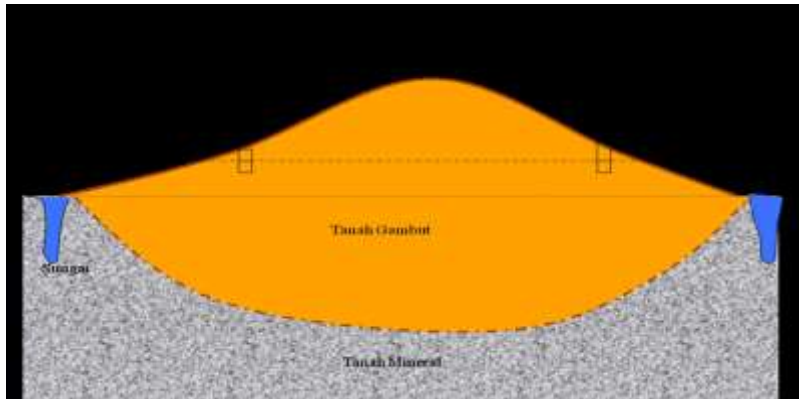
Zonasi Lahan Gambut

Tanah gambut tropika terbentuk melalui proses paludifikasi yaitu penebalan bahan gambut akibat tumpukan bahan organik dalam keadaan jenuh air. Material utama gambut tropika adalah biomassa tumbuhan yang mengandung lignin tinggi, sehingga lambat terdekomposisi. Laju AGROEKOLOGI RAWA 474

pembentukan tanah gambut sangat lambat dan berbeda antara satu tempat dengan tempat lainnya yang dipengaruhi oleh banyak faktor utamanya lingkungan setempat meliputi; (1) sumber dan neraca air, (2) kandungan mineral yang ada dalam air, (3) iklim (curah hujan, suhu, kelembaban), (4) tutupan vegetasi, dan (5) pengelolaan setelah drainase (Maas, 2012). Kondisi tersebut menyebabkan lahan gambut mempunyai karakteristik yang spesifik dan unik yang berbeda dengan lahan kering atau lainnya.

Tanah gambut terbentuk secara perlahan akibat timbunan bahan organik pada danau dangkal, dan kemudian secara perlahan ditumbuhi oleh tanaman air dan vegetasi lahan basah (Agus dan Subiksa, 2008). Tanaman yang mati dan melapuk secara bertahap membentuk lapisan yang kemudian menjadi lapisan transisi antara lapisan gambut dengan *sub stratum* (lapisan di bawahnya) yang berupa tanah mineral. Tanaman berikutnya tumbuh pada bagian yang lebih tengah dari danau dangkal ini dan membentuk lapisan-lapisan gambut, sehingga danau tersebut menjadi penuh. Bagian gambut yang tumbuh mengisi danau dangkal tersebut disebut dengan gambut topogen karena proses pembentukannya disebabkan oleh topografi daerah cekungan. Gambut yang tumbuh di atas gambut topogen dikenal dengan gambut ombrogen, yang pembentukannya ditentukan oleh air hujan. Hasil pelapukan gambut topogen membentuk lapisan gambut baru yang lama kelamaan membentuk kubah gambut yang permukaannya cembung. Tepi kubah mempunyai ketebalan gambut relatif tipis dan makin ke tengah bagian kubah ketebalan gambutnya makin tebal dan tidak lagi mendapat pasokan hara dari limpasan sungai (Widjaya-Adhi *et al.*, 1992).

Lahan gambut umumnya terletak pada satuan hidrologis yang berada diantara dua sungai besar dan beberapa anak sungai yang merupakan cabang dari sungai-sungai besar. Satuan hidrologis gambut berhubungan dengan dinamika pasang dan surut dari sungai-sungai tersebut baik langsung maupun tidak langsung, sehingga patut menjadi pertimbangan dalam pengembangan dan pengelolaan lahan gambut. Sebagian besar pemanfaatan lahan gambut saat ini belum berdasarkan pada penataan ruang berdasarkan satuan hidrologi gambut. Satuan hidrologi berbeda dengan satuan batas administrasi, berbeda pula dengan satuan penguasaan, dan satuan pemanfaatan padahal satuan tersebut saling mempengaruhi. Penataan ruang lahan gambut yang didasarkan atas satuan hidrologi lahan gambut dibagi atas zona konservasi dan zona budidaya seperti dalam Gambar 1.



Gambar 1. Zonasi lahan gambut pada satuan hidrologi berdasarkan ketebalan gambut (Maas, 2015)

Kubah gambut berfungsi sebagai penyimpan cadangan air dan pengatur keseimbangan air dalam KHG, sehingga berperan sebagai kawasan konservasi. Pada kawasan kubah gambut yang telah dibuat kanal-kanal perlu dikembalikan fungsi hidrologis dengan menutup kanal tersebut. Pada kawasan yang sudah terlanjur dibudidayakan dan di dalamnya terdapat kanal-kanal, restorasi tata air dapat dilakukan dengan membangun sekat-sekat (tabat) dalam jumlah yang memadai di dalam setiap kanal, sehingga kedalaman air tanah gambut di sekitarnya dapat dinaikkan dan gambut menjadi basah, sehingga sulit terbakar.

Kawasan gambut yang mempunyai ketebalan < 3m dikategorikan sebagai zona budidaya. Kawasan tersebut dapat dimanfaatkan untuk budidaya tanaman pertanian dan perkebunan. Namun, pemanfaatan lahan gambut untuk pengembangan pertanian perlu kehati-hatian, karena lahan gambut berperan ganda baik sebagai media tumbuh tanaman, maupun peran dalam lingkungan (pemendam karbon dan air). Pengelolaan ekosistem gambut harus memperhatikan aspek pemanfaatan, pemeliharaan dan perlindungan. Pelestarian fungsi ekosistem gambut sebagai pengendali dampak perubahan iklim melalui mitigasi dan adaptasi perubahan iklim.

Pemanfaatan lahan gambut utamanya ditujukan pada zona budidaya dan yang terdegradasi. Lahan gambut terlanjar memerlukan perhatian serius agar tidak terjadi degradasi lebih lanjut. Lahan gambut yang tidak termanfaatkan berupa semak belukar serta pada kondisi kering lebih rentan terhadap kebakaran. Upaya untuk mengurangi kerentanan kebakaran dapat dilakukan

dengan meningkatkan kelembaban permukaan gambut. Menurut Nurzakiah *et al.* (2006) semakin berkurang kelembaban tanah yang diindikasikan dengan semakin tinggi kandungan gugus fungsional hidrofobik menunjukkan semakin tingginya tingkat kerentanan terhadap kebakaran. Hidrofobisitas akan mempengaruhi kemampuan substansi humat dalam adsorpsi kation (Chorover *et al.*, 1999). Kondisi hidrofobik berkaitan dengan berkurangnya gugus fungsional hidrofilik antara lain karboksilat dan fenolat (Utami *et al.*, 2009; Masganti, 2012).

Alternatif pemanfaatan lahan gambut terdegradasi yaitu: (a) direstorasi menjadi hutan, (b) dibiarkan pulih (*recovery*) secara alami atau (c) dimanfaatkan sebagai lahan pertanian dan tujuan ekonomi lainnya sesuai dengan potensi dan karakteristiknya. Pemanfaatan sebagai lahan pertanian yang produktif merupakan alternatif yang paling prospektif (Tim Perumus SemNas, 2014). Pemanfaatan lahan gambut terdegradasi dianggap oleh berbagai pihak sebagai tindakan dilematis. Oleh karena itu, pengelolaannya harus secara terencana dan didukung oleh teknologi yang teruji untuk menurunkan emisi GRK dan secara simultan dapat meningkatkan produktivitas lahan dan keuntungan usahatani (Subiksa *et al.*, 2014).

Lahan gambut terdegradasi di Indonesia didominasi oleh tumbuhan semak belakar seperti di Sumatera dan Kalimantan yang mempunyai lahan gambut terdegradasi cukup luas. Lahan gambut terdegradasi terluas dijumpai di Sumatera, disusul Kalimantan dan Papua (Wahyunto *et al.*, 2015). Pemanfaatan lahan gambut terdegradasi juga memperhatikan zonasinya, pada kawasan zona budidaya (ketebalan gambut < 3 m) dapat diusahakan untuk budidaya tanaman, sedangkan pada zona konservasi (ketebalan gambut > 3 m) dikembalikan fungsinya sebagai kawasan konservasi.

Pemulihan Lahan Gambut

Pemulihan lahan gambut terdegradasi diperlukan untuk menghindari kerusakan lahan lebih lanjut. Penurunan muka air tanah akibat pembuatan saluran drainase seringkali menyebabkan gambut pada lapisan atas menjadi kering. Kondisi ini diperparah pada tahun *El-Nino* seperti tahun 1997, muka air tanah menjadi lebih dalam, sehingga lahan sangat rentan dengan kebakaran lahan. Seperti dilaporkan oleh Page *et al* (2002), dalam keadaan demikian kebakaran gambut dapat mencapai ketebalan 50 cm. Pada kondisi ekstrim, bara api pada tanah gambut dapat bertahan sampai berminggu-minggu. Degradasi dan Remediasi 477

minggu. Hatano *et al.*, (2004) pada tahun normal memperkirakan kedalaman gambut yang terbakar sewaktu pembukaan hutan sedalam 15 cm.

Kebakaran lahan gambut terutama pada hutan rawa gambut memberikan dampak tidak hanya kerusakan atau degradasi lahan, namun juga terhadap keragaman hayati dan lingkungan. Hutan rawa gambut sangat sensitif terhadap drainase dan kebakaran, akibat ketergantungan vegetasi penyusunnya terhadap komponen penyusun gambut, yang dipengaruhi oleh kecukupan ketersediaan air, penutupan tajuk, dan input seresah daun (Yule dan Gomez, 2009). Kebakaran hutan rawa gambut yang terjadi di Indonesia, khususnya di kawasan KHDTK Tumbang Nusa dan sekitarnya telah menurunkan keragaman jenis vegetasi, baik tingkat pohon, pancang maupun anakan (Tata dan Pradjadinata, 2013).

Pemulihan ekosistem gambut bertujuan untuk memulihkan sumberdaya kawasan gambut yang telah rusak, sehingga berfungsi optimal baik secara ekologi, ekonomi, maupun sosial kepada seluruh pihak yang berkepentingan. Degradasi lahan gambut perlu dipulihkan agar tidak memberikan dampak lebih lanjut. Kebakaran hutan tahun 1997 berdampak besar terhadap struktur dan komposisi hutan gambut berupa hilangnya sebagian besar individu pohon (92%) atau 97.8% total basal area dan kehilangan jenis sampai 72.5%, melebihi kehilangan biodiversitas yang terjadi pada hutan campuran (Simbolon, 2004). Umumnya dampak kebakaran hutan keduanya lebih hebat daripada sebelumnya karena hutan yang sudah terbakar mempunyai timbunan bahan bakar berupa residu arang, batang dan cabang yang lebih kering dan mudah terbakar. Apabila biomassa tanaman hutan gambut terbakar, maka tidak hanya biomassa tanaman saja yang akan terbakar, tetapi juga beberapa sentimeter lapisan gambut bagian atas yang berada dalam keadaan kering.

Proses pemulihan kerusakan lahan gambut yang disebabkan oleh kebakaran yang kedua umumnya akan lebih lama. Tidak seperti pemulihan hutan gambut pasca sekali kebakaran yang langsung ditumbuhi oleh jenis-jenis tumbuhan sekunder, pemulihan awal hutan gambut pasca kebakaran yang kedua kali diawali oleh komunitas herba paku-pakuan (Simbolon, 2004). Pada lahan gambut yang telah direstorasi dengan cara pembendungan kanal, regenerasi alami berlangsung lebih baik menuju ke ekosistem normal yang ditunjukkan dengan komposisi dan keanekaragaman jenis yang lebih tinggi dibandingkan dengan areal yang tidak direstorasi (Sitepu, 2016).

Kegiatan rehabilitasi (pemulihan) lahan gambut dilakukan berdasarkan KHG sebagai unit manajemen. Kegiatan rehabilitasi kawasan bergambut dapat dilakukan di semua kawasan hutan dan bukan kawasan hutan serta area penggunaan lain yang dapat diselenggarakan melalui kegiatan pemeliharaan tanaman, pengkayaan tanaman maupun kegiatan restorasi tata air sesuai kebutuhan melalui pendekatan partisipatif dalam rangka mengembangkan potensi dan memberdayakan masyarakat setempat.

Pemulihan lahan gambut melalui restorasi hidrologis harus memperhatikan prinsip-prinsip sebagai berikut: a) kubah gambut dan gambut dengan kedalaman > 3 meter merupakan daerah/zona yang terbebaskan dari pemanfaatan dan keberadaan kanal-kanal. b) penutupan kanal diperlukan pada kawasan kubah gambut untuk mengembalikan fungsi hidrologis, c) pada ekosistem gambut dengan fungsi lindung (ketebalan gambut > 3 meter) yang sudah terlanjur dibudidayakan dan di dalamnya terdapat kanal-kanal, diperlukan sekat-sekat (tabat) dalam jumlah yang memadai di dalam setiap kanal, sehingga kedalaman air tanah gambut di sekitarnya dapat dinaikkan dan gambut menjadi basah serta sulit terbakar, d) penyekatan kanal juga berlaku pada ketebalan gambut < 3m pada seluruh lahan gambut yang sudah terlanjur di bangun agar proses rewetting bisa optimal (KLHK, 2015).

Pembasahan lahan gambut juga dapat menggunakan pompa, dengan memindahkan masa air dari tempat lain ke lahan gambut yang ingin direstorasi melalui pembasahan langsung di atas permukaan lahan gambut atau pembasahan melalui air mancur (*fountain*). Pembasahan langsung dapat dilakukan melalui pemompaan air dari sungai-sungai di dekat lahan gambut (KLHK, 2015). Di hamparan lahan gambut yang cukup jauh dari sumber air (sungai) dapat dilakukan dengan membuat “sumur galian dangkal” atau “sumur galian dalam” di sekitarnya. Pembasahan lahan gambut dapat juga dilakukan dengan membangun kolam-kolam/tandon-tandon sebagai cadangan penyimpanan air untuk digunakan dalam pemadaman kebakaran. Hal ini karena saat musim kemarau, jika terjadi kebakaran, sulit sekali didapatkan sumber-sumber air untuk memadamkan api. Tandon air ini dapat digunakan untuk menampung air hujan, maupun air dari sumur bor.

Pemulihan lahan gambut terdegradasi selanjutnya melalui rehabilitasi menggunakan vegetasi yang adaptif dan ramah gambut (revegetasi). Namun sebelum hal ini dilakukan terlebih dahulu harus diperbaiki kondisi hidrologinya. Revegetasi juga dapat terjadi secara alami jika di lantai lahan gambut masih banyak dijumpai berbagai bibit tanaman asli, vegetasi ini akan V. Degradasi dan Remediasi 479

tumbuh dengan sendirinya jika tata air telah dibenahi. Revegetasi dilakukan pada areal bekas terbakar ringan/sedang, bekas tebang habis, areal terbuka (vegetasi jarang), bekas terbakar yang telah mengalami suksesi, bekas tebang selektif, penutupan vegetasi sedang (KLHK, 2015). Rehabilitasi di lahan gambut yang telah rusak dan sering tergenang harus mempertimbangkan curah hujan dan tingginya tingkat genangan. Pembuatan tukanan (gundukan) diperlukan pada kawasan yang tergenang ini. Revegetasi juga harus mempertimbangkan jenis komoditas yang akan ditanam, dengan mempertimbangkan faktor sosial, ekonomi dan lingkungan, namun tetap mempertimbangkan kesesuaian lahan. Revegetasi dapat dilakukan untuk pengkayaan plasma nutfah tertentu, atau koleksi komoditas tertentu. Revegetasi pada area konsesi yang lokasinya berbatasan dengan kawasan lindung dan konservasi, pemilihan komoditas terbatas pada jenis-jenis tertentu yang adaptif dan tidak bersifat invasi.

Konservasi Lahan Gambut

Lahan gambut memiliki beberapa fungsi strategis, seperti fungsi hidrologis, penambat karbon dan habitat untuk mendukung biodiversitas flora maupun fauna. Tingginya cadangan karbon menyebabkan jika lahan gambut terdekomposisi atau terbakar akan menyebabkan emisi karbon yang signifikan. Keunikan lahan gambut tersebut perlu dijaga dari kerusakan, agar kelestarian lahan dapat lebih lama dan lingkungan juga tidak tercemar oleh emisi karbon.

Lahan gambut berperan dalam sistem hidrologi, karena gambut mampu menyimpan air sampai 13 kali dari bobotnya. Dalam fungsi hidrologis, peran kubah gambut sangat penting, sehingga mempertahankan kubah gambut sangat diperlukan agar sumber air terpenuhi sepanjang tahun, dan terhindar dari banjir maupun kekeringan. Pembuatan saluran pada lahan gambut hendaklah dilakukan dengan sangat hati-hati. Kesalahan dalam pembuatan saluran dapat menimbulkan dampak lingkungan antara lain: laju penurunan muka tanah (subsiden), emisi karbon, kering tidak balik, dan bahan organik terlarutkan (DOC) semakin meningkat. Selain itu, bahaya kebakaran, perubahan iklim, pemanasan global, peningkatan muka air laut, kelangkaan air bersih pada musim kemarau, banjir pada musim hujan, dan polusi air, berdampak bagi masyarakat lokal setelah ada perubahan lingkungan.

Lahan gambut menyimpan karbon jauh lebih besar (mencapai sepuluh kali lipat lebih besar) dari pada tanah-tanah mineral, tergantung dari ketebalan lapisan tanah gambut tersebut. Semakin tebal lapisan gambut maka semakin besar cadangan karbon di dalam tanah. Lahan gambut juga menyimpan karbon di atas permukaan tanah dalam biomassa tanaman dan nekromasa (Gambar 2). Di dalam tanah, karbon tersimpan pada lapisan gambut dan sedikit pada lapisan tanah mineral di bawah lapisan gambut (*substratum*). Dari berbagai penyimpan karbon tersebut, tanah gambut menyimpan karbon terbesar dan diikuti oleh biomassa tanaman. Cadangan karbon dalam tanah gambut (*below ground C-stock*) bervariasi tergantung proses pembentukan dan keadaan lingkungan. Page *et al.* (2002) menyatakan rata-rata kandungan C pada tanah gambut sekitar 60 kg C/m³ atau ekuivalen dengan 600 t C/ha untuk setiap meter ketebalan gambut. Di daerah tropis cadangan C dalam tanah gambut bervariasi antara 250 t /ha untuk gambut tipis (ketebalan gambut <100m). Untuk setiap satu meter kedalaman gambut tersimpan sekitar 300-700 ton C/ha (Wahyunto *et al.* 2003, 2004).

Lahan gambut dengan keadaan hutan alami merupakan penyerap (*sink*) CO₂. Hutan gambut alami, yang tidak terpengaruh drainase dan kemarau panjang, tumbuh secara perlahan dengan kecepatan 0-3 mm/tahun karena adanya batang pohon mati atau ranting yang menumpuk di atasnya dan melapuk secara lambat. Namun apabila hutan gambut dibuka dan didrainase maka lahan gambut berubah fungsi dari penyerap menjadi sumber emisi gas karbon (CO₂) yang merupakan salah satu gas rumah kaca (Agus dan Subiksa, 2008).



Gambar 2. Potensi cadangan karbon di lahan gambut (Foto: Siti Nurzakiah)

Hutan rawa gambut alami mempunyai kondisi basah dan siklus yang terjadi mendukung pembentukan gambut, penyerapan dan penyimpanan karbon. Namun ketika dikeringkan dan tidak lagi berhutan atau terdegradasi, hutan rawa gambut melepaskan karbon gambut jauh lebih cepat dari yang telah diserap (*sequester*) (Couwenberg *et al.*, 2010, Dommain *et al.*, 2010). Di Indonesia, kondisi hutan rawa gambut berkisar dari yang masih utuh hingga sudah rusak parah (Wibisono *et al.*, 2011).

Salah satu peran lahan gambut adalah sebagai habitat aneka flora dan fauna. Kekayaan flora berupa berbagai jenis pohon yang mempunyai nilai komersial tinggi untuk keperluan bahan industri baik meubel, konstruksi, obat-obatan (farmasi) dan beberapa jenis prespektif lainnya. Beberapa pohon yang dapat dimanfaatkan untuk kayu bangunan antara lain; galam (*Melaleuca leucdendron*), jelutung (*Dyera lowii*), simpur (*Dillenia excels*), bungur (*Lagerstroemia specisa*), pulai rawa (*Alstonia pneumatophora*), tumih (*Combretocarpus rotundatus*), geronggang (*Cratoxylon arborescens*) belangeran (*Shorea balangeran*), meranti bunga (*Shorea teysmanniana*), meranti rawa (*Shorea pauchiflora*), dan terentang (*Camptosperma auriculata*) (Gambar 3).



Gambar 3. Jenis tumbuhan yang terdapat di lahan gambut (Foto: Siti Nurzakiah)

Beberapa jenis pohon mempunyai nilai penting yang menghasilkan hasil hutan *non* kayu (*non wood forest products*) antara lain gimor (*Alseodaphne hellophylla*), sonte (*Palaquium leicocar pum*), dan nyatoh (*Palaquium*, spp) (Antonius, 2006). Tumbuhan yang berpotensi untuk bahan industri farmasi antara lain; bintangur (*Calophyllum lanigerum*), *Calophyllum cannum* dan *C.dioscorii* yang mempunyai zat bioaktif anti kanker dan masih ada lagi beberapa jenis prospektif lainnya (Antonius, 2016).

Fauna endemik yang dijumpai di hutan rawa gambut antara lain; buaya sinyulong (*Tomistoma schlegelii*), bangau (*Ciconia stormy*), mentok rimba (*Cairina scutulata*), lingsang dengan hidung berambut (*Lutra sumatrana*), Black Partridge (*Melanoperdix nigra*), berbagai spesies ikan, jenis capung, bekantan (*Nasalis larvatus*), dan kucing berkepala rata (*Prionailurus planiceps*). Banyak juga ditemui jenis burung yang hanya terdapat di hutan rawa gambut (Wibisono *et al.*, 2011). Pada rawa gambut di Kalimantan Tengah ditemui tidak kurang 100 jenis ikan penghuni rawa (Kartamihardja, 2002). Jenis ikan yang banyak dijumpai di rawa gambut antara lain: papuyu (*Anabas testudinesus*), lele (*Clarias* spp.), baung (*Mystus nemurus*), ikan gabus (*Channa* spp), sepat (*Trichogaster* spp.), dan jelawat (*Ceptobarubus hoeveni*).

Teknologi Rehabilitasi Lahan Gambut Terdegradasi

Teknologi rehabilitasi dimaksudkan untuk mempercepat upaya pemulihan lahan gambut yang terdegradasi agar lahan gambut dapat kembali berfungsi secara ekologi maupun sosial ekonomi. Teknologi rehabilitasi meliputi pengelolaan air, persiapan lahan, pemilihan jenis tanaman, ameliorasi, dan sistem agroforestri.

Pengelolaan air

Pengelolaan air pada lahan gambut merupakan faktor yang sangat penting. Air merupakan faktor penting dalam proses pembentukan gambut, kubah gambut, menjamin kelangsungan habitat makluk hidup endemik rawa, serta menjaga gambut dari subsidensi, serta menghindarkan gambut dari kondisi hidrofobik yang mengakibatkan gambut rentan kebakaran. Tujuan dari pengelolaan air di lahan gambut adalah: (1) menyediakan air yang cukup bagi pertumbuhan tanaman, (2) menjaga kondisi aerasi bagi mikroorganisme, (3) mengendalikan reaksi kimia tanah dan perkembangan perakaran tanaman (Masganti *et al.*, 2015), dan (4) menjaga kelestarian gambut agar terhindar dari kerusakan akibat drainase atau pengeringan.

Dalam pengelolaan air di lahan gambut yang paling penting untuk diperhatikan adalah menjaga tinggi muka air tanah, agar permukaan lahan tetap basah, dan kebutuhan tanaman terpenuhi. Kelembaban tanah yang terjaga selain dapat mencegah kebakaran lahan juga dapat menurunkan tingkat dekomposisi, sehingga emisi karbon juga dapat ditekan (Jauhianien *et al.*, 2008; Couwenberg, 2009; Husen *et al.*, 2013). Terdapat hubungan positif antara kedalaman air tanah dan kehilangan karbon, serta total respirasi tanah gambut (Carlson *et al.*, 2015).

Konsep kesatuan hidrologis menjadi penting dalam pengelolaan air di lahan gambut untuk memulihkan lahan gambut. Kesatuan hidrologis menjadi dasar untuk pemanfaatan lahan gambut sekaligus untuk pengelolaan termasuk pembuatan saluran drainase. Densitas saluran semakin ke arah kubah gambut, semakin sedikit. Namun tidak bisa dipungkiri kondisi saat ini sudah banyak kubah gambut yang dikelola dan dibuat saluran drainase, sehingga perlu dilakukan penataan ulang.

Konsep ekohidrologi yang diterapkan dimaksudkan untuk menjamin keberadaan air pada kondisi lebih tinggi, sehingga selain melindungi kubah gambut, namun secara gravitasi mampu membasahi gambut pada bagian landscape di bawahnya. Penutupan kanal juga diperlukan pada kubah gambut yang telah terlanjur dibuat dan pada batas satuan penguasaan dalam satu kesatuan hidrologis, serta pemilihan jenis tanaman yang sesuai dengan kondisi lahan gambut. Perlu sinkronisasi peraturan perundangan biofisik terkait pemanfaatan dan konservasi lahan gambut, termasuk pemerataan kesempatan akses terhadap lahan gambut dalam mendukung kesejahteraan masyarakat.

Karakteristik gambut yang memiliki daya hantar hidrolis tinggi baik vertikal maupun horizontal, sehingga diperlukan pengendalian muka air tanah pada batas yang aman. Mempertahankan tinggi muka air tanah pada batas 40cm dapat mengurangi emisi CO₂ (IPCC, 2014), meningkatkan kelembaban tanah sehingga kerentanan terhadap kebakaran lahan juga semakin menurun. Kunci utama untuk pengembangan pertanian di lahan gambut adalah pengendalian atau pengelolaan air (Sarwani *et al.*, 1994; Masganti *et al.*, 2015).

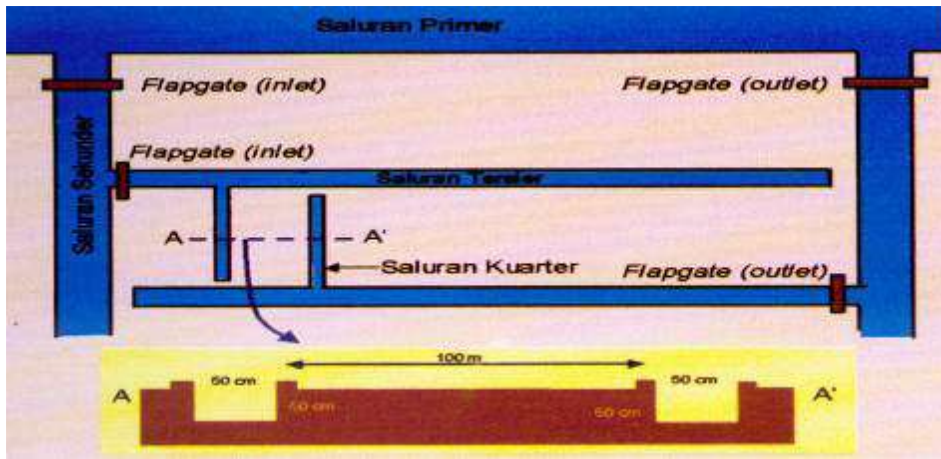
Pengelolaan air di lahan gambut dimaksudkan untuk mengatur tinggi muka air yang mampu menjaga produktivitas lahan dan kelestarian sumberdaya lahan gambut. Salah satu teknik pengelolaan air di lahan gambut dapat dilakukan menggunakan sistim tabat yang bertujuan untuk: (1) mengatur keberadaan air tanah di lahan gambut sesuai dengan kebutuhan tanaman yang dibudidayakan, (2) mencuci asam-asam organik

dan anorganik serta senyawa lainnya yang bersifat racun terhadap tanaman dan memasukkan air segar untuk memberikan oksigen; (3) mempertahankan tinggi muka air tanah untuk menjaga kelestarian gambut agar terhindar dari kerusakan dan kekeringan, dan (4) memanfaatkan keberadaan air di dalam saluran sebagai media budidaya ikan baik budidaya aktif (dengan menebar benih ikan) maupun budidaya pasif.

Kelestarian pertanian di lahan gambut dalam aspek mempertahankan kondisi biofisik lahan mungkin akan sulit terwujud, dan yang bisa diusahakan adalah memperpanjang umur pakai lahan gambut. Ambak dan Melling (2000) mengemukakan bahwa sebenarnya istilah pertanian yang lestari (*sustainable agriculture*) kemungkinan tidak akan bisa diterapkan untuk kegiatan pertanian di lahan gambut, karena lahan akan menyusut dan mengalami subsiden pada saat kegiatan pertanian dikembangkan. Upaya untuk memperpanjang umur pakai lahan gambut salah satunya melalui pengelolaan air.

Pengelolaan air di lahan gambut yang perlu diperhatikan antara lain: kondisi dari air tanah (*groundwater*) dan juga air permukaan, bentuk dan kisaran fluktuasinya, pengaruh dari saluran terhadap daerah di sekitarnya. Kondisi hidrologi akan memainkan peranan penting dalam pergerakan banyak substansi, kelestarian dari gambut itu sendiri dan produktivitas pertanian. Kesatuan hidrologi gambut perlu diperhatikan dalam pengelolaan air di lahan gambut.

Salah satu komponen penting dalam pengaturan tata air di lahan gambut adalah bangunan pengendali berupa pintu air di setiap saluran. Pintu air berfungsi untuk mengatur tinggi muka air di saluran, sehingga tinggi muka air di lahan juga dapat dikendalikan (Agus dan Subiksa, 2008). Teknologi pengelolaan air tersebut tergantung pada tipologi lahan. Pada lahan gambut pasang surut tipe B dapat menggunakan teknologi tata air satu arah dan tabat konservasi (SISTAK) (Gambar 4). Pencegahan kekeringan sangat penting dengan pemasangan tabat (*dam overflow*) pada muara-muara saluran sebagai pintu air dapat meningkatkan tinggi permukaan air dan mempertahankan cadangan air pada lahan di sekitarnya. Pada lahan gambut dengan tipe luapan C, pengelolaan air sistem tabat sangat penting untuk mencegah drainase berlebihan sehingga terhindar dari kekeringan. Tabat dapat dibuat secara sederhana atau permanen, sesuai dengan ketinggian muka air yang diinginkan (Gambar 5).



Gambar 4. Pengaturan tata air mikro Sistem Tabat (Subagyono *et al.*, 1999)



Gambar 5. Sistem tabat di lahan gambut terdegradasi, Jabiren, Kab. Pulang Pisau, Kalimantan Tengah (Sumber: ICTTF; Balittra 2013)

Rata-rata tinggi tabat dibuat 20 cm dibawah muka tanah, lebar tabat disesuaikan dengan lebar parit yang ada dan jarak antar tabat sekitar 100- 150 m. Dimensi saluran/tabat disesuaikan dengan jenis tanaman yang dibudidayakan (Masganti *et al.*, 2015). Efektivitas tabat dalam meningkatkan kadar air tanah di lahan gambut cukup signifikan. Hasil penelitian adanya tabat dapat mempertahankan kadar air tanah 80-197% berdasarkan berat kering tanah (Alwi *et al.*, 2004). Sementara di lahan gambut Kalimantan Tengah tabat dapat mempertahankan kadar air tanah sampai 250%, sedangkan lahan yang tidak ditabat sekitar 60% (Fitrianti *et al.*, 2017).

Penyiapan lahan

Penyiapan lahan adalah rangkaian kegiatan mulai dari membersihkan lahan dari gulma, kayu maupun ranting dan menata lahan serta upaya menetralkan lahan agar menjadi media tumbuh yang baik bagi tanaman. Penyiapan lahan untuk budidaya tanaman di lahan gambut seringkali menimbulkan kebakaran lahan, karena masih banyak petani yang menerapkan *slash and burn*. Lahan gambut sangat mudah terbakar, apalagi jika kondisinya kering karena kandungan bahan organik tinggi dan sifatnya yang porous. Teknologi tanpa bakar dapat dilakukan dengan persiapan lahan secara manual maupun mekanik dan dilanjutkan dengan pemberian dekomposer untuk mendekomposisi gulma, kayu dan ranting-ranting sisa tanaman.

Penyiapan lahan selanjutnya adalah penataan lahan. Penataan lahan dapat dilakukan dengan membuat surjan untuk lahan yang tergenang, dan sistem tegalan dengan membuat guludan-guludan kecil untuk lahan yang tidak dipengaruhi oleh genangan (Gambar 6). Sistem surjan sudah lama dilakukan petani di lahan rawa yang sering tergenang. Surjan adalah sebuah sistem pertanian di lahan rawa yang memadukan antara sistem sawah dengan sistem tegalan. Penataan lahan sangat tergantung pada kondisi keragaman tipologi lahan dan tipe luapan. Berdasarkan tipologi lahan, luapan pasang surutnya air, dan jenis komoditas yang dikembangkan, maka bentuk atau model surjan dapat dipilah dalam tiga model, yaitu (1) model surjan dengan tambahan tukang, (2) model surjan tanpa tukang, dan (3) model surjan bertahap. Tinggi surjan bervariasi tergantung tinggi genangan di lahan. Pada lahan pasang surut tipologi D, penataan lahan dengan menerapkan sistem tegalan. Sistem tegalan penataan lahan yang dilakukan umumnya hanya membuat guludan yang tingginya berkisar antara 30–40cm (Widjaya Adhi, 1995)



Gambar 6. Model penataan lahan sistem surjan dengan tukang (1) dan guludan (2) di lahan gambut (Dok: M. Noor dan E. Maftuah)

Sistem surjan di lahan gambut bersifat multifungsi baik dalam perspektif ekologi, ekonomi, maupun budaya. Dalam perpektif ekologi, sistem surjan dimaksudkan untuk menyiasati kondisi gambut yang sangat dipengaruhi oleh adanya pasang surut dan genangan dengan memanipulasi sumberdaya lahan, tanpa menimbulkan dampak negatif atau dampaknya minimal terhadap lingkungan. Perspektif ekonomi dalam kaitannya dengan pengembangan sumberdaya ekonomi, yaitu penggunaan pemanfaatan lahan dapat dioptimalkan melalui peningkatan intensitas pertanian 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. Sistem surjan juga banyak diterapkan oleh petani Malaysia, Thailand dan Vietnam dalam pemanfaatan lahan rawa untuk pertanian (Noor, 2004).

Ameliorasi

Amelioran atau “pembenah tanah” merupakan bahan yang ditambahkan ke dalam tanah untuk memperbaiki lingkungan akar yang baik bagi pertumbuhan tanaman. Ameliorasi berperan untuk memperbaiki kesuburan tanah gambut melalui peningkatan pH, meningkatkan ketersediaan hara, dan menurunkan kadar asam organik dan ion-ion toksis (Attiken *et al.*, 1998). Jumlah amelioran yang diberikan ke dalam tanah tergantung pada sifat tanah dan jenis tanaman yang dibudidayakan. Pada umumnya takaran amelioran yang diberikan lebih banyak dibanding dengan takaran pupuk. Sumber bahan amelioran dapat berupa bahan organik maupun anorganik antara lain; kompos, limbah ternak (pupuk kandang), kapur (dolomit, kalsit, gipsum), abu vulkanik, abu gambut, dan lumpur.

Bahan amelioran yang umum digunakan oleh petani untuk meningkatkan kesuburan tanah gambut adalah pupuk kandang dan abu (Gambar 7). Kelemahan pupuk kandang sebagai bahan amelioran adalah kemampuannya dalam menaikkan pH dan kandungan basa-basa terbatas, sehingga diperlukan dalam jumlah yang banyak. Kandungan unsur hara dalam pupuk kandang sapi padat/segar adalah N (1,53%), P (0,67%), K (0,70%) sedangkan kotoran ayam adalah N (1,50%), P (1,97%), K (0,68%) (Hartatik dan Widowati, 2006). Menurut Lingga (1991) kadungan hara pupuk kandang sapi adalah N (0,30%), P₂O₅ (0,20%), K₂O (0,20%) dan rasio C/N 20 – 25%, sedangkan pupuk kandang ayam adalah N (1,50%), P₂O₅ (1,30%), K₂O (0,80%) dan rasio C/N 9 -11.

Pemanfaatan abu sebagai bahan amelioran telah dilaksanakan petani dari awal pembukaan lahan gambut. Abu ini berasal dari sisa-sisa gulma dan tanaman yang kemudian dibakar disuatu tempat tertentu. Abu kaya akan unsur P, Ca, Mg dan K. Banyaknya kation basa dalam abu gambut dapat digunakan sebagai bahan penjerap P, sehingga dapat meningkatkan daya simpan P tanah. Namun dalam pemanfaatan abu ini perlu diwaspadai terutama dalam proses pembuatan abu yang sangat rentan terhadap kebakaran.

Sumber bahan amelioran yang lain berupa tanah mineral yang mengandung banyak sumber kation untuk menekan aktivitas asam-asam organik, sehingga kemasaman tanah menurun. Pemberian tanah mineral akan dapat memperkuat ikatan-ikatan kation dan anion sehingga unsur hara dari pupuk dapat dilindungi dari kehilangan. Dengan adanya ikatan antara koloid mineral dengan bahan gambut menyebabkan degradasi gambut dapat dihambat, sehingga gambut sebagai sumberdaya alam dapat digunakan dalam jangka waktu yang lebih lama. Amelioran yang mengandung kation polivalen (Fe, Al, Cu, dan Zn) seperti terak baja, tanah mineral atau lumpur sungai sangat efektif mengurangi dampak buruk asam fenolat (Sabiham dan Ismangun, 1997; Salampak, 1999; Masganti, 2003). Pemberian tanah mineral sulfat masam dapat menurunkan konsentrasi asam siringat, asam kumarat dan asam vanilat (Hartatik dan Suriadikarta, 2006). Penurunan asam-asam fenolat disebabkan interaksi antara kation Fe dalam tanah mineral sebagai jembatan kation dan asam-asam fenolat melalui proses polimerisasi. Penambahan kation polivalen seperti Fe dan Al akan menciptakan tapak jerapan bagi ion fosfat sehingga bisa mengurangi kehilangan hara P melalui pencucian (Rachim, 1995). Pemberian tanah mineral berkadar besi tinggi dapat meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman padi (Salampak, 1999).



Gambar 7. Penggunaan amelioran untuk memperbaiki kesuburan tanah gambut (Foto: E. Maftu'ah)

Kapur telah terbukti mampu meningkatkan pH tanah. Pengapuran dapat meningkatkan pH tanah gambut sampai kisaran 4,5–5,5. Pengapuran bertujuan untuk menurunkan tingkat kemasaman tanah, memperbaiki imbalan unsur hara sehingga unsur hara dapat diserap oleh tanaman (Brown *et al.*, 2007). Kapur memberikan pasokan OH⁻ ke dalam larutan tanah yang dengan H⁺ menjadi air menyebabkan kadar H⁺ berkurang dan meningkatkan pH tanah. Pemberian kapur dolomit menyumbangkan ion Ca²⁺ dan Mg²⁺, sehingga akan terbentuk kompleksasi dengan asam humat. Besarnya kompleksasi tersebut tergantung pada besarnya proton dalam larutan tanah (Jeong *et al.*, 2005). Kehati-hatian dalam pengapuran di lahan gambut sangat diperlukan. Pengapuran melebihi pH 5,5 dapat menyebabkan mempercepat dekomposisi dan mineralisasi gambut, sehingga kemungkinan untuk terjadi pelindian unsur hara hasil mineralisasi juga tinggi, serta dapat meningkatkan emisi karbon. Pemberian kapur dengan takaran 0,2% dari berat kering bahan gambut dapat meningkatkan daya menyimpan P bahan gambut sebesar 45% (Maas *et al.*, 1993). Suryanto (1994) melaporkan pengapuran dapat meningkatkan penyimpanan P dalam bahan gambut hingga 55%. Namun peningkatan takaran kapur tidak selalu meningkatkan kemampuan gambut menyimpan P. Pengapuran dengan takaran 0,75 kemasaman tertukar telah cukup efektif dalam meningkatkan kesuburan tanah gambut (Masganti, 2003).

Ameliorasi dapat menggunakan biochar yaitu arang dari bahan organik yang diperoleh dari proses pembakaran tidak sempurna (pirolisis). Pengaruh pemberian biochar ke dalam tanah gambut, tergantung pada kualitas biochar. Kualitas biochar antara lain ditentukan oleh kadar air, luas permukaan, ukuran pori, kandungan hara (Lehmann dan Joseph, 2009). Komposisi hara biochar berbeda-beda tergantung pada bahan baku yang digunakan. Pencampuran biochar dan pupuk kandang memberikan komposisi kimia yang berbeda, dibandingkan dengan sifat biochar. Peranan biochar antara lain memberikan tempat (habitat) bagi mikroorganisme tanah, dan dapat menyimpan hara dan air serta menjadikan lebih tersedia bagi tanaman (Lehmann dan Rondon, 2006; Rondon *et al.*, 2007).

Pemanfaatan bahan amelioran akan mempengaruhi kompleksasi dan disolusi unsur hara dalam bahan gambut. Mekanisme kompleksasi dan disolusi bahan amelioran dengan senyawa humat akan menentukan efektivitas dan efisiensi penggunaan bahan amelioran. Faktor lingkungan terutama pH tanah perlu mendapat perhatian dalam penentuan amelioran. Selain itu komposisi kimia dan kualitas amelioran akan sangat menentukan

efektivitasnya. Penggunaan jenis amelioran tertentu dimaksudkan untuk tujuan tertentu pula, tergantung pada masalah utama yang ingin diperbaiki. Pemilihan amelioran yang tepat menjadi salah satu kunci rehabilitasi lahan gambut terdegradasi. Waktu aplikasi dan takaran amelioran juga menentukan efektivitas dan efisiensi bahan amelioran yang diberikan.

Pemilihan jenis tanaman

Pemulihan lahan gambut tidak hanya menyangkut aspek hidrologi (tata air saja), namun juga upaya untuk memanfaatkan lahan gambut. Pemanfaatan lahan gambut tersebut selain untuk memperbaiki kondisi lahan, serta dapat mencegah kerusakan yang lebih parah, namun juga dapat mendukung perekonomian masyarakat. Revegetasi dapat efektif setelah aspek hidrologisnya tertata dengan baik. Pemilihan jenis tanaman akan sangat menentukan keberhasilan upaya pemulihan ekosistem gambut. Kegiatan revegetasi untuk pemulihan ekosistem gambut juga sangat terkait dengan zonasi, secara teknik dapat diterapkan, secara ekonomi menguntungkan, secara sosial budaya dapat diterima masyarakat serta ramah lingkungan.

Jenis tanaman yang digunakan untuk revegetasi juga sangat tergantung pada kawasan yang akan direstorasi. Pada kawasan konservasi, revegetasi menggunakan jenis tanaman hutan yang bertujuan untuk memperkaya plasma nutfah. Pada kawasan budidaya dapat menggunakan tanaman tahunan dan semusim yang adaptif. Jenis-jenis vegetasi pada ekosistem lahan gambut dapat diklasifikasikan berdasarkan pemanfaatannya, yaitu untuk pangan, bahan obat, pakan ternak, ornamen, media pertumbuhan, bioenergi, dan bahan material untuk industri. Tata dan Susmianto (2016) menyebutkan bahwa vegetasi yang dapat toleran pada ekosistem lahan gambut dapat diklasifikasikan berdasarkan pada manfaat dari hasil yang dapat diperoleh. Jenis-jenis vegetasi yang termasuk dalam berbagai kelompok manfaat dan hasil diperlihatkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Jenis-jenis vegetasi untuk revegetasi lahan gambut berdasarkan fungsinya (Modifikasi dari:KLHK, 2015; Tata dan Susmianto, 2016)

| No. | Fungsi | Jenis |
|-----|---|---|
| 1. | Penghasil pangan (karbohidrat, buah, bumbu, sayur, minyak nabati) | Sagu (<i>Metroxylon spp.</i>), Asam Kandis (<i>Garcinia xanthochymus</i>), Kerantungan (<i>Durio oxleyanus</i>), Pepaken (<i>Durio kutejensis</i>), Mangga Kasturi (<i>Mangifera casturi</i>), Mangga Kueni (<i>Mangifera odorata</i>), Rambutan (<i>Nephelium spp.</i>), Nipah (<i>Nypa fruticans</i>), Kelakai (<i>Stenochlaena palustris</i>), dan Tengkawang (<i>Shorea stenoptera</i> , <i>S. macrophylla</i>); padi (<i>Oryza sativa</i>), aneka palawija, kopi liberica(<i>Coffea liberica</i>), Nanas madu (<i>Ananas comusus Merr</i>), Lidah Buaya (<i>Aloe vera</i>) |
| 2. | Penghasil serat (bahan baku pulp dan kertas) | Geronggang (<i>Cratoxylum arborescens</i>), Terentang (<i>Camposperma auriculatum</i>), dan Gelam (<i>Melaleuca cajuputi</i>) |
| 3. | Sumber bio-energi | Gelam (<i>Melaleuca cajuputi</i>), Sagu (<i>Metroxylon sago</i>), dan Nipah (<i>Nypa fruticans</i>); |
| 4. | Sumber obat-obatan: | Akar kuning (<i>Coscinium fenestratum</i>), dan Pulai (<i>Alstonia pneumatophora</i>), jahe (<i>Zingiber officinale</i>), Laos (<i>Alpinia galaga</i>) |
| 5. | Penghasil getah/lateks | Jelutung (<i>Dyera polyphylla</i>), Nyatah (<i>Palaquium leiocarpum</i>), dan Sundi (<i>Payena spp.</i> , <i>Madhuca spp.</i>) |
| 6. | Hasil hutan | Gaharu (<i>Aquilaria sp.</i>), Gemor (<i>Alseodaphne sp.</i>), Purun tikus (<i>Elaeocharis dulcis</i>), dan Rotan (<i>Calamus trachycoleus</i>); |
| 7. | Vegetasi bernilai konservasi | Ramin (<i>Gonystylus bancanus</i>), dan Meranti merah (<i>Shorea macrantha</i> , <i>Shorea balangeran</i>). |

Keberhasilan pengembangan jenis tanaman di lahan gambut akan sangat tergantung pada kondisi lahan. Beberapa alternatif jenis tanaman yang dapat dikembangkan pada lahan gambut sesuai kondisi lahan tersaji dalam Tabel 2.

Tabel 2. Kondisi areal dan alternatif jenis tanaman di lahan gambut (Modifikasi dari: KLHK, 2015)

| No. | Kondisi lahan | Alternatif jenis tanaman |
|-----|---|---|
| 1. | Areal bekas terbakar ringan/sedang, bekas tebang habis, dan areal terbuka (vegetasi jarang) | <ul style="list-style-type: none"> • Jelutung rawa (<i>Dyera polyphylla</i>) • Perepat (<i>Combretocarpus rotundatus</i>) • Belangiran (<i>Shorea belangeran</i>) • Pulai rawa (<i>Alstonia pneumatophora</i>) • Rengas manuk (<i>Syaggium sp</i>) • Terentang (<i>Camposperma coriacea</i>) • Jenis Palawija • Jenis Sayuran • Padi • Nanas (<i>Ananas comusus Merr.</i>), • Lidah Buaya (<i>Aloe vera</i>) |
| 2. | Areal bekas terbakar yang telah mengalami suksesi, areal bekas tebang pilih, areal penutupan sedang | <ul style="list-style-type: none"> • Meranti rawa (<i>Shorea pauciflora</i>, <i>Shorea tysmanniana</i>, <i>Shorea uliginosa</i>) • Merapat (<i>Combretocarpus rotundatus</i>) • Durian (<i>Durio carinatus</i>) • Ramin (<i>Gonystylus bancanus</i>) • Kempas (<i>Koompassia malaccensis</i>) • Resak (<i>Vatica rassak</i>) • Kapur Naga (<i>Calophyllum macrocarpum</i>) • Nyatoh (<i>Palaquium spp.</i>) • Bintangur (<i>Calophyllum Hosei</i>) |
| 3. | Areal bekas tebang selektif , yang masih banyak dijumpai pohon, areal penutupan vegetasi masih tinggi | <ul style="list-style-type: none"> • Meranti rawa (<i>Shorea pauciflora</i>, <i>Shorea tysmanniana</i>, <i>Shorea uliginosa</i>) • Ramin (<i>Gonystylus bancanus</i>) • Punak (<i>Tetramerista glabra</i>) • Balam (<i>Palaquium rostratum</i>) • Kempas (<i>Koompassia malaccensis</i>) • Rotan (<i>Calamus spp</i>) • Gemar (<i>Nothaphaebe Cariacea</i>) |

a. Sistem Agroforestri

Salah satu alternatif pemulihan lahan gambut terdegradasi melalui sistem Agroforestri. Agroforestri merupakan suatu pola tanam yang menggunakan kombinasi komponen pohon dengan tanaman semusim, dan/atau dengan kegiatan peternakan/perikanan. Menurut Lanjje (2001) agroforestri didefinisikan sebagai suatu metode penggunaan lahan secara optimal yang mengkombinasikan sistem-sistem produksi biologis yang berotasi pendek dan panjang (suatu kombinasi produksi kehutanan dan

produksi biologis lainnya) dengan suatu cara berdasarkan asas kelestarian, secara bersamaan atau berurutan, dalam kawasan hutan atau di luarnya dengan tujuan untuk mencapai kesejahteraan rakyat. Sistem agroforestri dapat diterapkan pada pembangunan hutan melalui pola campuran tanaman pokok kehutanan dan tanaman semusim yang dilakukan pada lahan gambut milik masyarakat maupun kawasan hutan produksi.

Konsep agroforestri telah lama muncul yang dilatarbelakangi oleh belum dimanfaatkannya secara optimal kawasan hutan di negara berkembang dan terdapat banyak kegiatan yang mengarah pada perusakan lingkungan. Kecenderungan perusakan lingkungan ini perlu dicegah dengan cara pengelolaan lahan yang dapat mengawetkan lingkungan fisik secara efektif dan sekaligus dapat memenuhi kebutuhan pangan, papan dan sandang bagi masyarakat sekitar hutan. Keberhasilan dari sistem agroforestri sangat tergantung dari pengelolaan pohon yang dapat menekan pengaruh yang merugikan dan memaksimalkan pengaruh yang menguntungkan baik secara fisik, ekonomi, sosial maupun lingkungan. Interaksi pohon-tanah-tanaman tergantung pada pertumbuhan dan bentuk spesifik dari pohon, baik pada bagian tajuk maupun akar tanaman (Harun, 2014). Selain itu, jenis tanaman dibawah tegakan yang mampu mendukung perbaikan kondisi fisik, ekonomi, sosial maupun lingkungan perlu diperhatikan. Keuntungan sistem agroforestri antara lain; optimalisasi lahan, diversifikasi tanaman, mengurangi resiko kegagalan, juga dapat mencegah persiapan lahan untuk tanaman semusim tanpa bakar, dan meningkatkan stok karbon.

Sistem agroforestri ini sesuai untuk pemulihan lahan gambut secara ekologi dan ekonomi. Sistem agroforestri dapat mengoptimalkan pemanfaatan sumberdaya lokal yang ada, yaitu dengan menggabungkan berbagai macam komponen sistem usahatani (tanaman, hewan, tanah, air, iklim, dan manusia) sehingga saling melengkapi dan memberikan efek sinergi yang paling besar. Sistem Agroforestri menggunakan input luar dalam jumlah yang sedikit, hanya diperlukan untuk melengkapi unsur-unsur yang kurang dalam ekosistem dan meningkatkan sumberdaya biologi, fisik, dan manusia; pemanfaatan input luar memberikan perhatian utama pada upaya memaksimalkan daur ulang dan meminimalkan kerusakan lingkungan. Kombinasi tanaman pohon dan semusim dapat menjaga produksi sehingga kelangsungan pendapatan usahatani lebih terjamin.



Gambar 8. Sistem agroforestri jelutung + cabai dan karet + nanas di lahan gambut terdegradasi (Foto: R. Rahmad; E. Maftuah)

Jenis tanaman pokok pada sistem agroforestri dapat dipilih jenis MPTS (*Multiple Purpose Tree Species*) seperti sengon (*Paraserianthes falcataria*), jelutung (*Dyera lowii*), pulai (*Alstonia pneumatophora*), sukun (*Artocarpus* sp) atau tanaman kehutanan yang lain, dengan tanaman semusim pertanian yang cocok untuk lahan gambut seperti lidah buaya (*Aloe vera*), nanas (*Ananas comusus*), tanaman obat-obatan, dan tanaman pangan lain yang sesuai di lahan gambut.

Penutup

Degradasi lahan gambut antara lain disebabkan oleh pengelolaan lahan melalui pembukaan lahan dan pembuatan saluran drainase yang tidak sesuai kawasan hidrologis gambut. Degradasi lahan gambut berdampak terhadap penurunan fungsi lahan gambut, terutama fungsi lingkungan yaitu; menurunnya cadangan air, mudahnya gambut terbakar, meningkatnya emisi GRK, menurunnya cadangan karbon, menurunnya keanekaragaman biodiversitas baik flora, fauna maupun mikroorganisme tanah di lahan gambut.

Pemulihan lahan rawa gambut dari degradasi lahan diperlukan untuk menghindari kerusakan lahan lebih lanjut. Upaya pemulihan ekosistem gambut diperlukan untuk memperbaiki kondisi gambut agar berfungsi baik sebagai media tumbuh tanaman, maupun fungsi lingkungan dapat dikembalikan atau paling tidak diperbaiki kondisinya. Pemulihan ekosistem lahan gambut adalah aktivitas yang dilakukan untuk mengembalikan sifat dan fungsi ekosistem gambut sesuai sifat dan fungsi semula, baik melalui remediasi, restorasi maupun rehabilitasi.

Remediasi diperlukan untuk mendukung fungsi lahan gambut sebagai sumberdaya yang dapat dimanfaatkan sebagai media tumbuh tanaman untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat sekitar. Restorasi ekosistem gambut

bertujuan untuk mengembalikan fungsi hidrologis dan ekologis gambut maupun meningkatkan produktivitasnya sehingga fungsi ekosistem gambut dapat pulih kembali, sedangkan konservasi ekosistem gambut bertujuan untuk melindungi kawasan gambut agar tetap berfungsi sebagaimana mestinya.

Wilayah gambut yang harus dikonservasi adalah lahan gambut dengan ketebalan > 3 m dan kubah gambut, sedangkan kawasan gambut dengan ketebalan < 3m dapat dimanfaatkan dengan pengelolaan berbasis kawasan hidrologis gambut. Teknologi rehabilitasi lahan gambut dimaksudkan untuk mempercepat upaya pemulihan lahan gambut yang terdegradasi, agar lahan gambut dapat kembali berfungsi secara ekologi dan sosial ekonomi. Teknologi rehabilitasi lahan gambut terdegradasi meliputi pengelolaan air, pembukaan lahan, ameliorasi, pemilihan jenis tanaman dan sistem agroforestri.

Daftar Pustaka

- Agus, F., dan I.G. M. Subiksa. 2008. Lahan Gambut: Potensi untuk pertanian dan aspek lingkungan. Balai Penelitian Tanah dan World Agroforestry Centre (ICRAF), Bogor, Indonesia. 36 hal.
- 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. Hal. 1-23. Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi untuk Mitigasi Emisi GRK dan Peningkatan Nilai Ekonomi. Dalam; A. Wiharjaka, E. Maftuah, Salwati, Husnai, F. Agus (eds) . Prosiding Seminar Nasional. BBSDLP. Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian.
- Alwi, M., S. Saragih, dan Y. Lestari. 2004. Komponen teknologi pengelolaan lahan terpadu untuk meningkatkan produktivitas dan konservasi lahan gambut. 52 hal. Dalam. Laporan Akhir TA 2004. Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa. Banjarbaru.
- Antonius, 2016. Upaya konservasi ekosistem hutan rawa gambut. PIPER 23(12):136-146.
- Ambak, K., and L. Melling. 2000. Management practices for sustainable cultivation of crop plants on tropical peatlands. 119-134p . in Proc. of The International Symposium on Tropical Peatlands 22-23 November 1999. Bogor-Indonesia,.
- Attiken, W. P., P. W. Moody and T. Dickson, 1998. Field amelioration of acid soil in south – east Queensland. I. Effect of amendements on soil properties Australian. J. Agric. Res. 49 (4):627– 638.
- 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.

- Carlson, K.M., L. K. Goodman, and C.M. Tobin. 2015. Modeling relationships between water table dept and peat soil carbon loss in Southeast Asian Plantations. *Environ. Res.Lett.* 10:074006
- 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.
- Couwenberg, J. 2009. Methane emissions from peat soils (organic soils, histosols). Facts, MRV-ability, emission factors. Greifswald University Wetlands International, Nedherland. 14p
- Couwenberg, J., R. Dommain, and H. Joosten, 2010. Greenhouse gas fluxes from tropical peatlands in south-east Asia. *Global Change Biology* 16:1715-1732.
- Cruz, R. V., H. Harasawa, M. Lal, S. Wu, Y. Anokhin, B. Punsalmaa, Y. Honda, M. Jafar, C. Li, and N. H. Ninh. 2007. Asia. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Parry M L, Canziani O F, Palutikof J P, van der Linden P J and Hanson C E (eds.). Cambridge University Press. Cambridge, UK. pp. 469–506.
- Dommain, R., J. Couwenberg, and H. Joosten, 2010. Hydrological self-regulation of domed peatlands in south-east Asia and consequences for conservation and restoration. *Mires and Peat* 6:1-17.
- Fitriati, U., Rusliansyah, dan M. A. Ma'ruf. 2017. Canal blocking to maintain groundwater level at peatland Central Kalimantan. *J. Appl. Environ. Biol. Sci.* 7(4):111-117.
- Hartatik, W. dan L.R. Widowati, 2006. Pupuk Kandang. Dalam *Pupuk Organik dan Pupuk Hayati*. Hal 59-82. Dalam R.D.M. Simanungkalit, D.A. Suriadikarta, R. Saraswati, D. Setyorini dan W. Hartatik (eds). Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor.
- Hartatik, W. dan Suriadikarta, D.A. 2006. Teknologi pengelolaan hara lahan gambut. p. 151-180. Dalam Suriadikarta, D.A., Undang K, Mamat H.S., Hartatik, W. dan Setyorini, D (eds). *Karakteristik dan Pengelolaan Lahan Rawa*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor.
- Harun, M.K. 2014. *Agroforestri Berbasis Jelutung Rawa.Solusi Sosial, Ekonomi, dan Lingkungan Pengelolaan Lahan Gambut*. Forda Press. 254 hal.
- Hatano, R., M. Tomoaki, D. Untung, S.H. Limin and A. Syaiful. 2004. Impact of agriculture and wild fire on CO₂, CH₄, N₂O emissions from tropical peat soil in Central Kalimantan, Indonesia. Necessity of establishment of inventrory on carbon cyclings in Tropical peat land ecosystem for sustainable agroproduction and environmental conservation. Report No 13574012. Field Science Center for Narthern Biosphere Hokkaido University. Sapporro. Pp 11-14.

- Hooijer, A., S. Page, J. Jauhiainen, W.A. Lee, X.X. Lu, A. Idris, and G. Anshari, 2012. Subsidence and carbon loss in drained tropical peatlands. *Biogeosciences* 9, 1053–1071.
- Husen E, S Salma and F Agus. 2013. Peat emission control by groundwater management and soil amendments: evidence from laboratory experiments. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 1381: 1-9.
- IPCC 2014, 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands, Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G. (eds). Published: IPCC, Switzerland. 70p.
- Jauhiainen, J., A. Hooijer, and S. Page, 2012. Carbon dioxide emissions from an Acacia plantation on peatland in Sumatra, Indonesia. *Biogeosciences* 9:617–630.
- Jeong, C.Y., C.W. Park, J.G. Kim, and S.K. Lim, 2005. Carboxylic content of humic acid determined by modeling, calcium acetate, and precipitation methods. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71:86-94.
- Jauhinien, J., S. Limin, H. Silvennoinen, and H. Vasander, 2008. Carbon dioxide and methane fluxes in drained tropical peat before and after hydrological restoration. *Ecology*: 89(35):03-14.
- KLHK, 2015. Pedoman Pemulihan Ekosistem Gambut. KLHK. Jakarta. 39 hal.
- Lahjie, A.M. 2001. Teknik Agroforestri. Penerbit UPN “Veteran Jakarta” (Grafika-UPNVJ). Jakarta. 329 hal.
- Lehmann, J., and M. Rondon. 2006. ‘Bio-char soil management on highly-weathered soils in the humid tropics’, 517-530p. in Norman Uphoff, Andrew S. Ball, Erick Fernandes, Hans Herren, Olivier Husson, Mark Laing, Cheryl Palm, Jules Pretty, Pedro Sanchez, Nteranya Sanginga, Janice Thies (ed.), *Biological Approaches to Sustainable Soil Systems*, Boca Raton, CRC Press,
- Lehmann, J., and S. Joseph. 2009. *Biochar for Environmental Management*. First published by Earthscan in the UK and USA. 416p
- Lingga, P. 1991. Jenis Kandungan Hara pada Beberapa Kotoran Ternak. Pusat Penelitian Pertanian dan Pedesaan Swadaya (P4S). ANTANAN. Bogor. 210-217 hal.
- Maas, A. 1993. Perbaikan kualitas gambut dan sematan Fosfat. Dalam : *Prosiding Seminar Nasional Gambut II*. Tri Utomo, S dkk., (Eds). HGI-BPPT Jakarta 13 – 14 Januari 1993.
- Maas, A. 2012. Peluang dan konsekuensi pemanfaatan lahan gambut masa mendatang. Kata Pengantar. Hlm. xvii-xxiii. Dalam M. Noor et al. (Eds.). *Lahan Gambut : Pemanfaatan dan Pengembangannya untuk Pertanian*. Kanisius. Yogyakarta.
- Maas, A. 2016. Pengembangan EWS Berbasis Multi Parameter. Diskusi Aplikasi SESAME dalam Pencegahan Kebakaran Lahan. Sentul 15 April 2016.

- Mario, M.D. 2002. Peningkatan Produktivitas dan Stabilitas Tanah Gambut dengan Pemberian Tanah Mineral yang Diperkaya oleh Bahan Berkadar Besi Tinggi. Disertasi Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. 120 hal.
- Masganti, 2003. Kajian Upaya Meningkatkan Daya Penyediaan Fosfat Dalam Gambut Oligotrofik. Disertasi. Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta. 350 hal.
- 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, Wahyunto, A. Dariah, Nurhayati, dan Rachmiwati. 2014. Karakteristik dan potensi pemanfaatan lahan gambut terdegradasi di Provinsi Riau. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 8(1):47-54.
- Masganti, M. Alwi, dan Nurhayati. 2015. 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
- 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.
- Noor, M. 2004. *Lahan Rawa: Sifat dan Pengelolaan Tanah Bermasalah Sulfat Masam*. Raja Grafindo Persada. Jakarta. 241 hlm.
- Notohadiprawiro, T., 1997. Etika Pengembangan Lahan Gambut untuk Pengembangan Pertanian Tanaman Pangan. Lokakarya Pengelolaan Lingkungan dalam Pengembangan Lahan Gambut. Badan Pengendalian Dampak Lingkungan (BAPEDAL). Palangkaraya, 18 Juni 1997.
- Nurzakiah, S. Nurita, and D. Nursyamsi, 2006. Water management “tabat system” in carbon dioxide mitigation and vulnerability to fire on peatland. *J. Trop. Soils* 21(1):41-47.
- 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.
- Ritung, S., Wahyunto, Nugroho, K., Sukarman, Hikmatullah, Suparto, dan C. Tafakresnanto, 2011. Peta Lahan Gambut Indonesia Skala 1:250 000 (Indonesian peatland map at the scale 1:250 000) Bogor, Indonesia
- Rondon, M.,J. Lehmann, J. Ramirez, M. Hurtado, 2007. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with biochar additions. *Biol Fert Soils* 43:699–708.

- Salampak. 1999. Peningkatan Produktivitas Tanah Gambut yang Disawahkan dengan Pemberian Amelioran Tanah Mineral Berkadar Besi Tinggi". Disertasi. Program Pascasarjana, IPB.Bogor.171 hlm.
- Sarwani M. Noor M, Maamun MY. 1994. Pengelolaan Air dan Produktivitas Lahan Rawa Pasang Surut: Pengalaman dari Kalimantan Selatan dan Tengah. Balittan. Banjarbaru, Hal xi-xv
- Silvius, M.J., M. Oneka, and A.Verhagen, 2000. Wetlands: Lifeline for people at the edge. Phys. Chem. Earth 25:645-652.
- Simbolon,H. 2004. Proses awal pemulihan hutan gambut Kelampangan- Kalimantan Tengah pasca kebakaran hutan Desember 1997 dan September 2002.Berita Biologi7(3): 145-154
- Subiksa, IGM., I.G.P. Wigena, D. Setyorini, Salwati, Nurhayati, T. Sugiarti dan A. Firmansyah, 2014. Respon tanaman karena pengaruh ameliorasi tanah di lahan gambut: sintesis dari empat lokasi penelitian. Hal 25-44. Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi untuk Mitigasi Emisi GRK dan Peningkatan Nilai Ekonomi. Dalam; A. Wiharjaka, E. Maftuah, Salwati, Husnai, F. Agus (eds) . Prosiding Seminar Nasional. BBSDLP. Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian.
- Subagyo, K. I.W. Suastika dan E. E, Ananto, 1999. Penataan lahan dan air mikro pengembangan SUP lahan pasang surut Sumatera Selatan. P2SLPS2. Badan Litbang Pertanian. Jakarta.24 hal.
- Sabiham S. dan Ismangun,M. 1997. Potensi dan Kendala Pengembangan Lahan Gambut untuk Pertanian. Prosiding Simposium Nasional dan Konggres V PERAGI. Jakarta, 25 - 27 Januari 1996
- Suryanto. 1994.Improvement of the P Nutrient Status of Tropical Ombrogenous Peat Soils from Pontianak, West Kalimantan, Indonesia. Phd Thesis. Universiteit Gent. 216 halaman.
- Sitepu, B. S. 2016. Regenerasi alami pada areal restorasi lahan gambut di Taman Nasional Sebangau, Kalimantan Tengah.Prosiding Seminar Nasional II Tahun 2016,
- Kerjasama Prodi Pendidikan Biologi FKIP dengan Pusat Studi Lingkungan dan Kependudukan (PSLK) Universitas Muhammadiyah Malang. 588-594 hal.
- Tata, M.H.L., dan S. Pradjadinata, 2013. Regenerasi alami hutan rawa gambut terbakar dan lahan gambut terbakar di Tumbang Nusa, Kalimantan Tengah dan implikasinya terhadap konservasi. Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alami. 10(3):327-342.
- Tata H. L. dan A. Susmianto. 2016. Prospek Paludikultur Ekosistem Gambut Indonesia. FORDA PRESS. Bogor. 94 hlm.
- Tim Perumus SemNas, 2014. Pengelolaan berkelanjutan lahan gambut terdegradasi untuk mitigasi emisi GRK dan peningkatan nilai ekonomi. Badan Litbang Pertanian. Jakarta 18-19 Agustus 2014.

- Utami, S.N.H., A. Maas, B. Radjagukguk, dan B.H. Purwanto. 2009. Sifat fisik, kimia dan FTIR Spektrofotometri gambut hidrofobik Kalimantan Tengah. *J. Tanah Trop.* 14 (2):159-166.
- Wahyunto, S. Ritung, and H. Subagyo, 2003. Map of Peatland Distribution Area and Carbon Content in Sumatera 1990–2002, Wetlands International- Indonesia Programme & Wildlife Habitat Canada. 15p
- Wahyunto, S. Ritung, Suparto dan H. Subagyo. 2005. Sebaran dan kandungan karbon lahan gambut di Sumatera dan Kalimantan, Wetland International Indonesia Program. 254 hal
- Wahyunto, K. Nugroho, S. Ritung dan Y. Sulaiman. 2014. Indonesian peatland maps; methods, certainty and uses. Halaman Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi untuk Mitigasi Emisi GRK dan Peningkatan Nilai Ekonomi. Dalam; A. Wiharjaka, E. Maftuah, Salwati, Husnai, F. Agus (eds) . Prosiding Seminar Nasional. BBSDLP. Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian. 353 halaman.
- Wibisono, I.T.C., T. Silber, I. R. Lubis, N. Suryadiputra, M. Silvius, S. Tol and H. Joosten. 2011. Lahan Gambut dalam National REDD+ Strategy Indonesia. *Wetlands International*. 31 hal.
- Wijaya Adhi, I.P.G., K. Nugroho, D. Ardi S., A. S. Karama. 1992. Sumber daya lahan rawa: potensi, keterbatasan dan pemanfaatan. Dalam : Sutjipto, P. dan Mahyudin Syam. (eds). Pengembangan Terpadu Pertanian Lahan Rawa Pasang Surut dan Lebak. Risalah Nasional Pengembangan Pertanian Lahan Rawa Pasang Surut dan Lebak. Bogor, 3-4 Maret 1992. p. 176-188.
- Widjaya Adhi, I.P.G. 1995. Potensi, peluang, dan kendala perluasan areal pertanian di lahan rawa. Makalah Seminar Pengembangan Lahan Pertanian di Kawasan Timur Indonesia. Puspitek. Serpong.
- Yule, C. M., L. N. Gomez. (2009). Leaf litter decomposition in a tropical peat swamp forest in Peninsular Malaysia. *Ecology and Management* 17:231–241