

DAMPAK GANGGUAN AKTIVITAS MANUSIA PADA EKOSISTEM LAHAN GAMBUT TROPIS INDONESIA TERKAIT DENGAN KONTEKS PERUBAHAN IKLIM GLOBAL

Oleh: Nunung Puji Nugroho¹

Balai Penelitian Teknologi Kehutanan Pengelolaan DAS

I. PENDAHULUAN

Ekosistem lahan gambut terdiri dari dua komponen utama, yaitu lahan gambut dan hutan rawa gambut. Sebagai ekosistem ganda, saling ketergantungan antara kedua komponen tersebut telah terjadi selama ribuan tahun, di mana keduanya telah berkembang bersama-sama dan saling menjaga (Page *et al.*, 1999; Page *et al.*, 2004; Rieley, 2007). Dalam ekosistem lahan gambut, ada saling ketergantungan antara gambut, vegetasi dan air yang membuat mereka rentan terhadap berbagai dampak aktivitas manusia (Joosten, 2008).

Lahan gambut dengan hutan rawa gambut yang tumbuh di atasnya memainkan peran penting dalam perubahan iklim global. Dalam kondisi tidak terganggu, ekosistem lahan gambut merupakan penyimpanan dan penyerap karbon yang penting (Rieley & Page, 2005; Agus *et al.*, 2010). Pada hutan rawa gambut alam, lahan gambut menyerap karbon dan tumbuh antara 0,5-1,0 mm tahun⁻¹ (Joosten, 2008; Wahyunto *et al.*, 2010). Lahan gambut Indonesia diperkirakan mengandung karbon antara 33,7 Gt C (Wahyunto *et al.*, 2003; Wahyunto *et al.*, 2004; Wahyunto *et al.*, 2006) sampai dengan 55,0 Gt C (Jaenicke *et al.*, 2008). Hasil kajian Page *et al.* (2011) menunjukkan perkiraan yang lebih tinggi, yaitu dari 57,4 Gt C, yang merupakan 65% dari total karbon yang tersimpan di lahan gambut Asia Tenggara. Namun demikian, degradasi sebagai akibat dari aktivitas manusia dapat merubah status ekosistem lahan gambut dari penyerap dan penyimpan karbon menjadi sumber emisi karbon (Rieley & Page, 2005; Wahyunto *et al.*, 2010) dan berdampak buruk pada keanekaragaman hayati (Yule, 2010; Posa *et al.*

et al., 2011). Ketika dikeringkan (terutama karena drainase intensif untuk tujuan pertanian skala besar), lahan gambut dapat mengalami penurunan muka tanah pada tingkat hingga 1,5-3,0 cm tahun⁻¹, yang merupakan 15-30 kali dari tingkat pertumbuhannya (Andriess, 1988; Wahyunto *et al.*, 2010). Emisi CO₂ dari eksploitasi lahan gambut, drainase dan kebakaran lahan dan hutan mencapai lebih dari 10% dari emisi global yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil (Parish *et al.*, 2008).

Indonesia memiliki area lahan gambut tropis terluas di dunia dengan total sekitar 21 juta ha (Wahyunto *et al.*, 2010; Page *et al.*, 2011; Tiryana *et al.*, 2011), yaitu lebih dari 11% dari total daratan di Indonesia (Wahyunto *et al.*, 2010). Saat ini, ekosistem lahan gambut di Indonesia berada di bawah tekanan yang luar biasa. Dari 21 juta ha, 9 juta ha diantaranya telah terdegradasi, yang memberikan kontribusi signifikan terhadap perubahan iklim global (Silvius *et al.*, 2006). Dengan memperhitungkan emisi karbon dari lahan gambut, Indonesia berubah peringkat dari 21 ke 3 dalam peringkat negara-negara berdasarkan total emisi CO₂ (Silvius *et al.*, 2006). Dalam hal ini, Indonesia hanya di belakang Amerika Serikat (AS) dan Cina (Silvius *et al.*, 2006; PEACE, 2007; Olsen & Bishop, 2009). Kegiatan manusia utama yang menyebabkan dampak negatif terhadap ekosistem lahan gambut dalam konteks perubahan iklim global adalah: (1) pembalakan kayu, (2) konversi ke penggunaan lahan lainnya, (3) drainase, dan (4) kebakaran (Parish, 2002; Yule, 2010; Posa *et al.*, 2011).

Tujuan dari kajian ini adalah untuk memberikan informasi tentang dampak dari kegiatan manusia pada ekosistem lahan gambut di Indonesia, terutama dalam kaitannya dengan perubahan iklim global. Tulisan ini adalah hasil dari *desk study* yang dilakukan berdasarkan tinjauan pustaka dari makalah yang diterbitkan/artikel dan sumber-

¹ Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan DAS, Jl. Jenderal Ahmad Yani, P.O. Box 295, Pabelan, Kartasura, Surakarta, Jawa Tengah, Indonesia 57102. E-mail: np_nugroho04@yahoo.com

sumber *online* yang terkait dengan degradasi lahan gambut di Indonesia.

II. PENYEBAB UTAMA DEGRADASI EKOSISTEM LAHAN GAMBUT DAN KONSEKUENSINYA TERHADAP PERUBAHAN IKLIM GLOBAL

A. Pembalakan Kayu

Meskipun memiliki jumlah jenis pohon yang lebih sedikit dibandingkan dengan hutan hujan dataran rendah di tanah mineral, hutan rawa gambut mengandung sejumlah jenis pohon yang berharga, seperti ramin (*Gonystylus bancanus*), jelutung (*Dyera costulata*) dan meranti (*Shorea* spp.), sehingga telah dieksploitasi secara intensif dan seringkali secara tidak berkelanjutan (Silvius & Suryadiputra, 2005; Posa *et al.*, 2011). Operasi penebangan kayu di hutan rawa gambut Sumatera dan Kalimantan dimulai lebih awal daripada yang di Papua (Silvius & Suryadiputra, 2005; Marshall & Beehler, 2007). Kayu jenis komersial dibalok dengan mengikuti sistem silvikultur Tebang Pilih Tanam Indonesia (TPTI) dengan batas diameter setinggi dada (*diameter at breast height*-DBH) 40 cm, baik untuk jenis ramin maupun non-ramin (Istomo, 2002; Istomo *et al.*, 2010). Berdasarkan peraturan terbaru, DBH minimum dipanen untuk jenis pohon komersial di hutan rawa gambut ditetapkan menjadi 30 cm (Istomo *et al.*, 2010). Sebelumnya, operasi penebangan di hutan rawa gambut mengikuti sistem manual dengan membangun jalur rel *kuda-kuda* yang tetap memelihara kondisi hidrologi dari ekosistem rawa gambut (Parish, 2002). Namun demikian, metode mekanisasi terbaru dari pemanenan dan pengangkutan dengan cara membangun kanal-kanal untuk mengalirkan air dari hutan untuk akses kendaraan berat dan ekstraksi kayu telah menyebabkan pembalakan yang lebih intensif dan kerusakan yang lebih besar pada tegakan tinggal dan tanah gambut (Parish, 2002; Yule, 2010; Posa *et al.*, 2011). Selain penebangan legal, penebangan ilegal kayu komersial juga menyebabkan dampak negatif pada tanah gambut dan hutan rawa gambut, terutama karena adanya pembangunan kanal untuk mengangkut kayu, yang panjangnya hingga 10 km dari sungai ke hutan (Parish, 2002; Silvius & Suryadiputra, 2005).

Di hutan rawa gambut, pembalakan/ ekstraksi kayu melalui penebangan selektif,

baik secara legal maupun illegal, merupakan penyebab utama degradasi hutan, selain drainase dan kebakaran (Giesen, 2004; Verwer & Meer, 2010). Salah satu konsekuensi dari kegiatan pembalakan kayu adalah emisi karbon. Menebang suatu pohon dari komunitas hutan pasti akan mengurangi biomassa yang tersimpan di pohon hidup di atas permukaan tanah, sehingga mengurangi jumlah karbon yang dialokasikan ke dalam ekosistem lahan gambut (Rieley & Page, 2005). Pengurangan biomassa hidup melalui tebang pilih tidak hanya dihasilkan dari kayu yang diambil tetapi juga dari kerusakan pohon pada tegakan tinggal. Secara umum, tebang pilih akan mengurangi biomassa hidup di atas permukaan tanah dan meningkatkan biomassa mati atau nekromasa.

Dampak dari penebangan selektif terhadap biomassa hidup di atas permukaan tanah adalah bervariasi antara lokasi yang satu dengan lokasi yang lainnya, terutama disebabkan oleh adanya perbedaan dalam intensitas penebangan dan metode ekstraksi yang digunakan. Penelitian sebelumnya melaporkan bahwa biomassa di atas permukaan tanah (BAP) menurun 8% hingga 59% setelah penebangan selektif (Pinard & Putz, 1996; Pinard & Cropper, 2000; Gerwing, 2002; Brearley *et al.*, 2004; Berry *et al.*, 2010; Bryan *et al.*, 2010; Medjibe *et al.*, 2011). Di hutan Amazon Brasil timur, nilai BAP menurun dari 258 Mg ha⁻¹ menjadi 198 Mg ha⁻¹ (-23%) untuk intensitas penebangan ringan (35 m³ ha⁻¹) dan menjadi 148 Mg ha⁻¹ (-43%) untuk intensitas penebangan berat (69 m³ ha⁻¹) (Gerwing, 2002). Di hutan dipterocarp Sabah-Malaysia, teknik penebangan konvensional mengakibatkan 59% penurunan biomassa (dari 305 Mg ha⁻¹ menjadi 126 Mg ha⁻¹), sedangkan teknik *reduced impact logging* (RIL) mengakibatkan penurunan biomassa sebesar 36% (dari 310 Mg ha⁻¹ menjadi 199 Mg ha⁻¹) (Pinard & Putz, 1996). Di hutan tropis Gabon, intensitas penebangan rendah (0,82 pohon ha⁻¹; 8,1 m³ ha⁻¹) yang dikombinasikan dengan teknik RIL mengakibatkan hanya 8% atau 34 Mg ha⁻¹ kehilangan biomassa (Medjibe *et al.*, 2011). Nugroho (2014) melaporkan bahwa penebangan dengan teknik tebang pilih di hutan rawa gambut Riau telah menyebabkan kehilangan BAP sekitar 24% (dari 248 Mg ha⁻¹ menjadi 200 Mg ha⁻¹).

B. Konversi ke Penggunaan Lahan Lainnya

Hutan rawa gambut telah dan sedang mengalami deforestasi, dikeringkan dan seringkali dibakar untuk pembangunan pertanian, terutama untuk perkebunan kelapa sawit skala besar dan tanaman industri (pulp dan kertas) (Sorensen, 1993; Tawaraya *et al.*, 2003; Wösten *et al.*, 2006; Joosten, 2009; Hooijer *et al.*, 2010; Jaenicke *et al.*, 2010). Konversi lahan gambut ke penggunaan lahan lainnya tidak hanya menghancurkan lahan gambut yang sedang dikembangkan dan keanekaragaman hayati yang terkait, tetapi juga memiliki efek negatif terhadap lahan gambut yang tersisa dan lahan lainnya melalui drainase, kebakaran atau hilangnya layanan ekologis (Parish, 2002). Antara tahun 1975-1995, wilayah hutan rawa gambut dibuka secara luas untuk lahan pertanian sebagai bagian dari skema transmigrasi spontan dan resmi (Silvius & Suryadiputra, 2005). Pada tahun 1990, sekitar 531.000 ha lahan gambut telah terdeforestasi untuk tujuan ini (Rieley & Page, 2005). Pada tahun 1995, Pemerintah Indonesia memutuskan untuk mengkonversi sekitar satu juta ha lahan gambut, sebagian besar berhutan, menjadi lahan persawahan di Kalimantan Tengah; yang disebut "Proyek Lahan Gambut Sejuta Hektar" (Boehm & Siegert, 2000). Proyek ini akhirnya tidak berhasil dan ditinggalkan pada tahun 1998 menciptakan area terbuka yang luas dan kanal drainase (Boehm & Siegert, 2000; Parish, 2002).

Selama tahun 1985 hingga 2008/9, lebih dari 3,5 juta ha hutan alam Sumatera pada lahan gambut dataran rendah telah hilang, terutama untuk perkebunan kelapa sawit dan industri bubur kayu (Uryu *et al.*, 2008; Uryu *et al.*, 2010). Lebih dari 2,2 juta ha (35% di antaranya masih berhutan alam) perkebunan kayu pulp (konsesi Hutan Tanaman Industri/HTI) didirikan di lahan gambut dengan kedalaman lebih dari 0,5 m, setidaknya 850.000 ha dari luasan tersebut berada pada lahan gambut dengan kedalaman 4-8 m dan 330.000 ha lainnya pada lahan gambut 2-4 m (Uryu *et al.*, 2010). Sebuah studi penginderaan jauh mengungkapkan bahwa sekitar 507.738 ha perkebunan kelapa sawit di Sumatera dan Kalimantan didirikan di lahan gambut, yang merupakan 10,21% dari total perkebunan kelapa sawit di dua pulau tersebut (4.971.944 ha) (Koh *et al.*, 2011). Provinsi Riau kehilangan

hutan rawa gambut terbesar untuk perkebunan kelapa sawit (lebih dari 240.000 ha), diikuti oleh Sumatera Utara (~110.000 ha) dan Sumatera Barat (~32.000 ha).

Konversi hutan rawa gambut skala luas telah menyebabkan emisi gas rumah kaca (GRK) yang signifikan serta hilangnya keanekaragaman hayati. Selain itu, lahan gambut yang dikonversi tersebut terus memancarkan CO₂ ke atmosfer sebagai akibat dari oksidasi gambut. Dari tahun 1990 sampai 2002, total emisi dari lahan gambut di Sumatera adalah sebesar 12.699,7 Mt CO₂ (setara dengan 3.463,6 Mt C), di mana Riau menyumbang 65% dari total emisi tersebut (Wahyunto *et al.*, 2003). Total emisi dari hilangnya hutan alam antara 1985 dan 2008/9 adalah sebesar 7,5 Gt CO₂ atau 326,9 Mt CO₂ tahun⁻¹ (setara dengan 89,1 Mt C tahun⁻¹); Riau bertanggung jawab atas 35% dari total emisi tahunan tersebut (Uryu *et al.*, 2010). Konversi hutan rawa gambut untuk perkebunan kelapa sawit telah menyebabkan kehilangan karbon biomassa, karbon gambut dan penyerapan karbon masing-masing adalah sebesar 78,9 Mt C, 2,6 Mt C tahun⁻¹ dan 0,4 Mt C (Koh *et al.*, 2011).

Pada tahun 2009, Menteri Pertanian mengeluarkan suatu keputusan yang memungkinkan lahan gambut dengan kedalaman kurang dari 3 m untuk dikonversi menjadi perkebunan kelapa sawit, yang bertentangan dengan Keputusan Presiden pada tahun 2007 tentang pelarangan konversi lahan gambut untuk perkebunan kelapa sawit (Koh *et al.*, 2009). Akibatnya, sekitar 2 juta ha lahan gambut tersedia untuk pengembangan perkebunan kelapa sawit. Pada tanggal 20 Mei 2011, pemerintah Indonesia mengeluarkan Instruksi Presiden (Inpres) No. 10/2011 tentang moratorium 2 tahun di hutan primer dan lahan gambut (Murdiyarso *et al.*, 2011), yang melindungi hampir 15 juta ha lahan gambut (Murdiyarso *et al.*, 2011; Austin *et al.*, 2012). Sayangnya, masih ada sekitar 6 juta ha lahan gambut yang tidak dilindungi oleh moratorium ini karena izin konsesi yang telah ada dan/atau telah disetujui secara prinsip untuk konversi sebelum Inpres diumumkan (Murdiyarso *et al.*, 2011). Namun demikian, beberapa analisis terakhir menyimpulkan bahwa moratorium selama 2 tahun tidak akan memberikan kontribusi yang signifikan untuk mendukung komitmen pemerintah Indonesia

dalam pengurangan emisi GRK sebesar 26% pada tahun 2020 dengan sumber daya keuangan dalam negeri atau 41% dengan bantuan internasional (Murdiyarso *et al.*, 2011; Austin *et al.*, 2012).

C. Drainase

Disebabkan oleh karakteristik fisik dan kimianya, pemanfaatan lahan gambut untuk pertanian membutuhkan pembersihan lahan, pembangunan drainase, pemupukan, dan pengapuran untuk meningkatkan pH tanah dan meningkatkan aktivitas mikroba (Posa *et al.*, 2011). Dengan demikian, pembangunan sistem saluran untuk drainase dan pengelolaan tinggi muka air seringkali menjadi langkah pertama dalam pengembangan pertanian dan aktivitas manusia lainnya di lahan gambut (Hooijer *et al.*, 2010; Posa *et al.*, 2011). Drainase intensif diperlukan untuk pembangunan perkebunan kelapa sawit dan hutan tanaman industri, misalnya akasia (Hooijer *et al.*, 2006; Page *et al.*, 2009). Sistem saluran juga digunakan oleh perusahaan penebangan kayu untuk memudahkan akses dari mesin-mesin berat dan untuk mengangkut kayu (seringkali secara ilegal) ke sungai, yang seringkali menyebabkan adanya peningkatan risiko kebakaran (Page *et al.*, 2002; Parish, 2002; Hooijer *et al.*, 2006; Langner & Siegert, 2009; Page *et al.*, 2009). Kegagalan "Proyek Lahan Gambut Sejuta Hektar" telah meninggalkan sekitar 4.000 km saluran drainase pada hutan rawa gambut di Kalimantan Tengah (Boehm & Siegert, 2000).

Drainase akan berdampak buruk terhadap efek spons dan fungsi penampung air (*reservoir*) pada rawa gambut (Andriess, 1988) karena memicu dekomposisi yang lebih besar dari bahan organik oleh oksidasi mikroba, yang akhirnya mengarah ke penurunan permukaan lahan gambut (*peat subsidence*) dan pengasaman (jika tanah asam sulfat di bawahnya terbuka) (Wösten *et al.*, 1997). Oksidasi gambut melepaskan emisi GRK ke atmosfer, terutama CO₂ dan CH₄, yang berkontribusi terhadap pemanasan global (Rücker, 2008; van der Werf *et al.*, 2009; Couwenberg *et al.*, 2010). Dekomposisi lahan gambut yang dikeringkan di Indonesia diperkirakan melepaskan emisi CO₂ pada tahun 2006 sebesar 516 Mt tahun⁻¹, yaitu sekitar 82% dari emisi lahan gambut di Asia Tenggara yang tidak terbakar (Hooijer *et al.*, 2006; Hooijer *et al.*, 2010). Couwenberg *et al.* (2010)

melaporkan bahwa berdasarkan data penurunan permukaan lahan gambut, emisi CO₂ untuk setiap 10 cm tambahan kedalaman drainase setidaknya adalah sebesar 900 g CO₂ m⁻² tahun⁻¹, mendekati nilai yang digunakan oleh Hooijer *et al.* (2006), yaitu 910 g CO₂ m⁻² tahun⁻¹. CH₄ fluks pada tingkat air yang tinggi dapat mencapai 3 mg CH₄ m⁻² jam⁻¹, sedangkan pada tingkat air rendah nilainya dapat diabaikan (Couwenberg *et al.*, 2010).

D. Kebakaran Hutan dan Lahan

Api merupakan faktor gangguan ekosistem penting yang memiliki dampak ekologis yang besar pada komposisi jenis, struktur vegetasi, tanah, air, dan atmosfer (Page *et al.*, 2009). Api sering digunakan oleh perusahaan dan petani kecil sebagai metode murah untuk membersihkan lahan dari limbah kayu dan sisa-sisa vegetasi, misalnya pada pembersihan lahan dengan teknik tebang-dan-bakar (*slash-and-burn*) (Boehm & Siegert, 2001; Murdiyarso & Adiningsih, 2007; Page *et al.*, 2009). Hutan rawa gambut lebih rentan terhadap kerusakan akibat kebakaran dibandingkan dengan jenis hutan lainnya karena tanah gambut sangat mudah terbakar saat kering (Langner *et al.*, 2007; Langner & Siegert, 2009) dan kerusakannya sangat parah ketika terjadi kebakaran (Wooster & Strub, 2002). Drainase gambut dan kekeringan parah akibat peristiwa cuaca ekstrim, seperti *El-Niño Southern Oscillation* (ENSO), meningkatkan risiko kebakaran ekosistem lahan gambut (Page *et al.*, 2002; Parish, 2002; Page *et al.*, 2009).

Beberapa kebakaran besar di Indonesia umumnya terjadi setiap 3 sampai 4 tahun, di mana kebakaran tahun 1997/1998 tercatat sebagai peristiwa kebakaran terparah (Tacconi, 2003; Hope *et al.*, 2005). Peristiwa kebakaran hutan dan lahan tahun 1982-1983 dan 1997-1998 telah mengakibatkan kerusakan hutan rawa gambut di Kalimantan masing-masing hingga 45% dan 72%-85% (Hope *et al.*, 2005). Seluas 500.000 ha lahan gambut terbakar pada tahun 1982-1983, terutama di Kalimantan Timur (Parish, 2002). Sedangkan, total luas hutan yang terbakar pada tahun 1982-1983 di Kalimantan Timur dilaporkan seluas 3 juta ha (Yamada, 2006). *Asian Development Bank* (ADB) dan Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas) memperkirakan bahwa kejadian kebakaran yang dipicu fenomena *El-Niño* pada tahun 1997 dan 1998 telah

berdampak pada 1.458.000 ha gambut dan hutan rawa di atasnya, di mana 308.000 ha diantaranya berada di Sumatera, 750.000 ha berada di Kalimantan dan 400.000 ha berada di Papua Barat (Tacconi, 2003). Ekosistem yang terdegradasi karena kegiatan penebangan hutan dan pembukaan lahan untuk pertanian ditemukan paling terpengaruh oleh kebakaran (Siegert *et al.*, 2001; Langner *et al.*, 2007; Miettinen *et al.*, 2007). Sebagian besar kebakaran tahun 1997 dan 1998 disebabkan oleh kegiatan penyiapan lahan (*land clearing*) yang dilakukan oleh perusahaan perkebunan dan petani kecil (Yeager *et al.*, 2003). Selama kejadian kebakaran pada tahun 2002 dan 2005, masing-masing sekitar 73% dan 55% dari hutan di Kalimantan yang terkena dampak tersebut berada di lahan gambut (Langner *et al.*, 2007). Sementara itu, pada tahun 2015, lebih dari 2,6 juta ha hutan, lahan gambut dan lahan lainnya terbakar (World Bank, 2015).

Kebakaran gambut mengakibatkan cepat hilangnya cadangan karbon, baik di atas maupun di bawah permukaan tanah, yang berubah menjadi emisi CO₂, dan berbagai dampak lingkungan, keanekaragaman hayati, sosial dan ekonomi lainnya (Page *et al.*, 2009; World Bank, 2015). Kebakaran gambut dapat melepaskan emisi dari 5.000-10.000 g C m⁻² (Page *et al.*, 2000; Siegert *et al.*, 2001) hingga 30.000 g C m⁻² (Page *et al.*, 2002). Perkiraan jumlah karbon yang dilepaskan ke atmosfer pada kebakaran yang dipicu fenomena ENSO tahun 1994/1995 adalah sebesar 0,6-3,5 Pg C (Langenfelds *et al.*, 2002), sedangkan di tahun 2002 diperkirakan sebesar 0,25-0,5 Pg C (Rieley & Page, 2005). Selama kejadian kebakaran tahun 1997-1998, sebanyak 0,8-3,7 Pg C telah dipancarkan ke atmosfer sebagai akibat dari pembakaran gambut dan vegetasi di Indonesia (Langenfelds *et al.*, 2002; Page *et al.*, 2002). Selain itu, diperkirakan bahwa selama 1997-2006, kebakaran lahan gambut yang sebagian besar disebabkan oleh drainase dan degradasi di Asia Tenggara telah melepaskan 1,4 Gt C tahun⁻¹ ke atmosfer, di mana 90% dari emisi tersebut berasal dari Indonesia (Hooijer *et al.*, 2006). Lebih lanjut dilaporkan oleh Hooijer *et al.* (2006) bahwa total emisi CO₂ dari lahan gambut pada tahun 2006 diperkirakan setara dengan 8% (atau 2 Gt C) dari emisi hasil pembakaran bahan bakar fosil. Pada bulan Oktober 2015, World Bank (2015) melaporkan bahwa emisi CO₂ dari kebakaran hutan dan

lahan gambut di Indonesia mencapai 15,95 juta ton CO₂ per hari.

Selain dampak emisi karbon, kabut asap yang melanda wilayah Asia Tenggara untuk beberapa bulan telah menyebabkan jutaan orang menderita masalah pernapasan dan kerugian ekonomi di Indonesia dan di seluruh Asia Tenggara yang mencapai sekitar USD 9 miliar (Parish, 2002; Tacconi, 2003). Untuk kebakaran tahun 2015, perkiraan kerugian ekonomi untuk Indonesia mencapai lebih dari USD 16 milyar (World Bank, 2015).

III. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Lahan gambut tropis di Indonesia saat ini sedang mengalami berbagai tingkat degradasi yang mengakibatkan dampak negatif pada perubahan iklim global dan keanekaragaman hayati. Degradasi lahan gambut memberikan kontribusi signifikan terhadap perubahan iklim global dengan melepaskan sejumlah besar karbon ke atmosfer melalui penghilangan biomassa, oksidasi gambut serta kebakaran biomassa dan gambut. Untuk mendukung komitmen sukarela Pemerintah Indonesia dalam mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 26% pada tahun 2020, maka Pemerintah Indonesia harus mengambil tindakan nyata dalam memerangi kerusakan lahan gambut. Untuk ekosistem lahan gambut di bawah ijin hak pengusahaan hutan (HPH) yang sudah ada, maka pemerintah harus menegakkan aturan yang ketat terkait dengan sistem silvikultur yang sesuai untuk hutan rawa gambut. Dalam hal ini, kombinasi intensitas penebangan rendah dengan teknik RIL dapat diterapkan untuk mempertahankan lebih banyak BAP di tegakan tinggal, sehingga lebih banyak karbon yang disimpan di dalam ekosistem. Pemerintah juga harus menerapkan moratorium jangka panjang untuk izin penebangan baru atau perpanjangan, sehingga akan memberikan waktu yang cukup bagi restorasi ekosistem lahan gambut untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Selain itu, pemerintah harus memberlakukan secara ketat pengelolaan air secara optimal, terutama untuk perusahaan hutan tanaman dan perkebunan yang ada, dengan mengurangi drainase, serta melakukan pembasahan dan pembentukan bendungan untuk meminimalkan emisi CO₂ dari oksidasi gambut dan kebakaran lahan gambut. Namun demikian, pembentukan hutan tanaman dan

perkebunan baru di lahan gambut, yang membutuhkan drainase intensif, harus dihindari. Akhirnya, langkah-langkah restorasi ekosistem lahan gambut untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dapat didasarkan pada panduan restorasi lahan gambut global yang dikembangkan oleh Schumann dan Joosten (2008), yang dapat diterapkan untuk ekosistem lahan gambut Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, F., Wahyunto, Dariah, A., Setyanto, P., Subiksa, I. G. M., Runtunuwu, E., . . ., & Supriatna, W. (2010). Carbon Budget and Management Strategies for Conserving Carbon in Peatland: Case Study in Kubu Raya and Pontianak Districts, West Kalimantan, Indonesia. In Z.-S. Chen & F. Agus (Eds.), *Proceeding of International Workshop on Evaluation and Sustainable Management of Soil Carbon Sequestration in Asian Countries, Bogor, Indonesia, September 28-29, 2010*, (pp. 217-233). Bogor, Indonesia: Indonesian Soil Research Institute, Indonesia, Food & Fertilizer Technology Center, Taiwan and National Institute for Agro-Environmental Sciences, Japan.
- Andriesse, J. P. (1988). Nature and Management of Tropical Peat Soils *FAO Soils Bulletin 59*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Austin, K., Sheppard, S., & Stolle, F. (2012). Indonesia's moratorium on new forest concessions: key findings and next steps *WRI Working Paper*. Washington DC: World Resources Institute.
- Berry, N., Phillips, O., Lewis, S., Hill, J., Edwards, D., Tawatao, N., . . ., & Hamer, K. (2010). The high value of logged tropical forests: lessons from northern Borneo. *Biodiversity and Conservation 19*(4), 985-997.
- Boehm, H. D. V., & Siegert, F. (2000). Application of Remote Sensing and GIS to Monitor Peatland Multi-Temporal in Central Kalimantan. In T. Iwakuma, T. Inoue, T. Kohyama, M. Osaki, H. Simbolon, H. Tachibana, H. Takahashi, N. Tanaka & K. Yabe (Eds.), *Proceedings of the International Symposium on Tropical Peatlands, Bogor, Indonesia, 22-23 November 1999*, (pp. 329-347): Graduate School of Environmental Earth Science, Hokkaido University, Sapporo and Research and Development Center for Biology, The Indonesian Institute of Sciences, Bogor.
- Boehm, H. D. V., & Siegert, F. (2001). Ecological Impact of the One Million Hectare Rice Project in Central Kalimantan, Indonesia, Using Remote Sensing and GIS - Land Use Change and (II)-legal Logging in Central Kalimantan, Indonesia *Paper presented at 22nd Asian Conference on Remote Sensing, 5-9 November 2001, Singapore*, (pp. 6): Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing (CRISP), National University of Singapore (NUS), Singapore Institute of Surveyors and Valuers (SISV), and Asian Association on Remote Sensing (AARS).
- Brearley, F. Q., Prajadinata, S., Kidd, P. S., Proctor, J., & Suriantata. (2004). Structure and floristics of an old secondary rain forest in Central Kalimantan, Indonesia, and a comparison with adjacent primary forest. *Forest Ecology and Management 195*(3), 385-397.
- Bryan, J., Shearman, P., Ash, J., & Kirkpatrick, J. B. (2010). Impact of logging on aboveground biomass stocks in lowland rain forest, Papua New Guinea. *Ecological Applications 20*(8), 2096-2103.
- Couwenberg, J., Dommain, R., & Joosten, H. (2010). Greenhouse gas fluxes from tropical peatlands in south-east Asia. *Global Change Biology 16*(6), 1715-1732.
- Gerwing, J. J. (2002). Degradation of forests through logging and fire in the eastern Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management 157*(1-3), 131-141.
- Giesen, W. (2004). Causes of peat swamp forest degradation in Berbak NP, Indonesia, and recommendations for restoration (pp. 126). Arnhem, The Netherlands: International Agricultural Centre (IAC), ALTERRA, ARCADIS EUROCONSULT, Wageningen University/ LEI, WL/Delft Hydraulics and Wetlands International.
- Hooijer, A., Page, S., Canadell, J. G., Silvius, M., Kwadijk, J., Wösten, H., & Jauhiainen, J. (2010). Current and future CO₂ emissions from drained peatlands in Southeast Asia. *Biogeosciences 7*(5), 1505-1514.
- Hooijer, A., Silvius, M., Wosten, H., & Page, S. (2006). PEAT-CO₂: assessment of CO₂ emissions from drained peatlands in SE Asia (pp. 41p.). Delft, the Netherlands: Delft Hydraulics Report QA 3943.
- Hope, G., Chokkalingam, U., & Anwar, S. (2005). The stratigraphy and fire history of the Kutai Peatlands, Kalimantan, Indonesia. *Quaternary Research 64*(3), 407-417.
- Istomo. (2002). *Kandungan fosfor dan kalsium serta penyebarannya pada tanah dan*

- tumbuhan hutan rawa gambut: studi kasus di Wilayah Bagian Kesatuan Pemangkuan Hutan Bagan, Kabupaten Rokan Hilir, Riau. Ph.D. Thesis (unpublished), Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Istomo, Komar, T. E., Tata, M. H. L., Sumbayak, E. S. S., & Rahma, A. (2010). *Evaluasi Sistem Silvikultur Hutan Rawa Gambut di Indonesia (in Indonesian)*. Bogor, Indonesia: ITTO-CITES Project and Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan dan Konservasi Alam, Kementerian Kehutanan
- Jaenicke, J., Rieley, J. O., Mott, C., Kimman, P., & Siegert, F. (2008). Determination of the amount of carbon stored in Indonesian peatlands. *Geoderma* 147(3-4), 151-158.
- Jaenicke, J., Wösten, H., Budiman, A., & Siegert, F. (2010). Planning hydrological restoration of peatlands in Indonesia to mitigate carbon dioxide emissions. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 15(3), 223-239.
- Joosten, H. (2008). What are peatlands? In F. Parish, A. Sirin, D. Charman, H. Joosten, T. Minayeva, M. Silvius & L. Stringer (Eds.), *Assessment on Peatlands, Biodiversity and Climate Change: Main Report*, (pp. 8-19): Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International, Wageningen
- Joosten, H. (2009). The Global Peatland CO₂ Picture - Peatland status and drainage related emissions in all countries of the world. Ede, The Netherlands: Wetlands International.
- Koh, L. P., Butler, R. A., & Bradshaw, C. J. A. (2009). Conversion of Indonesia's peatlands. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7(5), 238-238.
- Koh, L. P., Miettinen, J., Liew, S. C., & Ghazoul, J. (2011). Remotely sensed evidence of tropical peatland conversion to oil palm. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108(12), 5127-5132.
- Langenfelds, R. L., Francey, R. J., Pak, B. C., Steele, L. P., Lloyd, J., Trudinger, C. M., & Allison, C. E. (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(3), 1048.
- Langner, A., Miettinen, J., & Siegert, F. (2007). Land cover change 2002–2005 in Borneo and the role of fire derived from MODIS imagery. *Global Change Biology* 13(11), 2329-2340.
- Langner, A., & Siegert, F. (2009). Spatiotemporal fire occurrence in Borneo over a period of 10 years. *Global Change Biology* 15(1), 48-62.
- Marshall, A. J., & Beehler, B. M. (2007). *The Ecology of Papua - Part Two: Conservation International Foundation*.
- Medjibe, V. P., Putz, F. E., Starkey, M. P., Ndouna, A. A., & Memiaghe, H. R. (2011). Impacts of selective logging on above-ground forest biomass in the Monts de Cristal in Gabon. *Forest Ecology and Management* 262(9), 1799-1806.
- Miettinen, J., Langner, A., & Siegert, F. (2007). Burnt area estimation for the year 2005 in Borneo using multi-resolution satellite imagery. *International Journal of Wildland Fire* 16(1), 45-53.
- Murdiyarto, D., & Adiningsih, E. (2007). Climate anomalies, Indonesian vegetation fires and terrestrial carbon emissions. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 12(1), 101-112.
- Murdiyarto, D., Dewi, S., Lawrence, D., & Seymour, F. (2011). Indonesia's forest moratorium: a stepping stone to better forest governance? *Working Paper 76*. CIFOR: Bogor, Indonesia.
- Nugroho, N. P. (2014). Kandungan Biomassa Atas Permukaan pada Hutan Rawa Gambut di PT Diamond Raya Timber, Kabupaten Rokan Hilir, Provinsi Riau (The Above-ground Biomass Content in Peat Swamp Forests of PT Diamond Raya Timber, Rokan Hilir District, Riau Province). *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam* 11(1), 41-51.
- Olsen, N., & Bishop, J. (2009). The financial costs of REDD: Evidence from Brazil and Indonesia (pp. 65). Gland, Switzerland: IUCN.
- Page, S., Hoscilo, A., Langner, A., Tansey, K., Siegert, F., Limin, S., & Rieley, J. (2009). Tropical peatland fires in Southeast Asia. In M. A. Cochrane (Ed.), *Tropical Fire Ecology*, (pp. 263-287): Springer Berlin Heidelberg.
- Page, S. E., Rieley, J. O., & Banks, C. J. (2011). Global and regional importance of the tropical peatland carbon pool. *Global Change Biology* 17(2), 798-818.
- Page, S. E., Rieley, J. O., Böhm, H. D. V., Siegert, F., & Muhamad, N. (2000). Impact of the 1997 fires on the peatlands of Central Kalimantan, Indonesia *Proceedings of the 11th International Peat Congress, Quebec, Canada, August 2000* (pp. 962-970).
- Page, S. E., Rieley, J. O., Shotyk, W., & Weiss, D. (1999). Interdependence of peat and vegetation in a tropical peat swamp forest. *Philosophical Transactions of the Royal*

- Society of London. Series B: Biological Sciences* 354(1391), 1885–1897.
- Page, S. E., Siegert, F., Rieley, J. O., Boehm, H. D., Jaya, A., & Limin, S. (2002). The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. *Nature* 420(6911), 29-30.
- Page, S. E., Wust, R. A. J., Weiss, D., Rieley, J. O., Shotyk, W., & Limin, S. H. (2004). A record of Late Pleistocene and Holocene carbon accumulation and climate change from an equatorial peat bog (Kalimantan, Indonesia): implications for past, present and future carbon dynamics. *Journal of Quaternary Science* 19(7), 625-635.
- Parish, F. (2002). Overview on peat, biodiversity, climate change and fire. In F. Parish, E. Padmanabhan, C. L. Lee & H. C. Thang (Eds.), *Prevention and control of fire in peatlands. Proceeding of workshop on prevention and control of fire in peatlands*, (pp. 51-56). Cetaktama, Kuala Lumpur, Malaysia: Global Environment Centre and Forestry Department Peninsular Malaysia.
- Parish, F., Sirin, A., Charman, D., Joosten, H., Minayeva, T., Silvius, M., & Stringer, L. (Eds.). (2008). *Assessment on Peatlands, Biodiversity and Climate Change: Main Report*: Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International, Wageningen
- PEACE. (2007). Indonesia and Climate Change: Current Status and Policies (pp. 90): World Bank, Department of International Development (DFID) and PT Pelangi Energi Abadi Citra Enviro (PEACE).
- Pinard, M. A., & Cropper, W. P. (2000). Simulated effects of logging on carbon storage in dipterocarp forest. *Journal of Applied Ecology* 37(2), 267-283.
- Pinard, M. A., & Putz, F. E. (1996). Retaining Forest Biomass by Reducing Logging Damage. *Biotropica* 28(3), 278-295.
- Posa, M. R. C., Wijedasa, L. S., & Corlett, R. T. (2011). Biodiversity and Conservation of Tropical Peat Swamp Forests. *BioScience* 61(1), 49-57.
- Rieley, J. O. (2007). Tropical peatland -The amazing dual ecosystem: Co-existence and mutual benefit. In J. O. Rieley, C. J. Banks & B. Radjagukguk (Eds.), *Carbon-climate-human interaction on tropical peatland. Proceedings of The International Symposium and Workshop on Tropical Peatland*, (pp. 339). Yogyakarta, 27-29 August 2007: EU CARBOPEAT and RESTORPEAT Partnership, Gadjah Mada University, Indonesia and University of Leicester, United Kingdom.
- Rieley, J. O., & Page, S. E. (Eds.). (2005). *Wise use of tropical peatlands: focus on Southeast Asia*: ALTERRA-Wageningen University and Research Centre and the EU INCO-STRAPEAT and RESTORPEAT Partnerships.
- Rücker, G. (2008). Threat Analysis to Forest Coverage in Peat Swamp Forest in South Sumatra - A Contribution to an Assessment of Opportunities for Compensation Payments for Avoided Deforestation in South Sumatra *Draft Report No. 000* (pp. 50). Palembang, Indonesia: South Sumatra Forest Fire Management Project.
- Schumann, M., & Joosten, H. (2008). *Global Peatland Restoration Manual*. Greifswald, Germany: Institute of Botany and Landscape Ecology, Greifswald University.
- Siegert, F., Ruecker, G., Hinrichs, A., & Hoffmann, A. A. (2001). Increased damage from fires in logged forests during droughts caused by El Nino. [10.1038/35106547]. *Nature* 414(6862), 437-440.
- Silvius, M., Kaat, A., Bund, H. v. d., & Hooijer, A. (2006). Peatland degradation fuels climate change. Wageningen, The Netherlands: Wetlands International.
- Silvius, M. J., & Suryadiputra, N. (2005). Review of policies and practices in tropical peat swamp forest management in Indonesia. Wageningen, The Netherlands: Wetlands International.
- Sorensen, K. W. (1993). Indonesian peat swamp forests and their role as a carbon sink. *Chemosphere* 27(6), 1065-1082.
- Tacconi, L. (2003). Fire in Indonesia: Causes, Costs and Policy Implications *CIFOR Occasional Paper No. 38* (pp. 34). Bogor, Indonesia: CIFOR.
- Tawaraya, K., Ta kaya, Y., Turjaman, M., Tuah, S. J., Limin, S. H., Tamai, Y., . . . , & Osaki, M. (2003). Arbuscular mycorrhizal colonization of tree species grown in peat swamp forests of Central Kalimantan, Indonesia. *Forest Ecology and Management* 182(1-3), 381-386.
- Tiryana, T., Tatsuhara, S., & Shiraishi, N. (2011). Empirical Models for Estimating the Stand Biomass of Teak Plantations in Java, Indonesia *Journal of Forest Planning* 16(Special Issue on Multipurpose Forest Management), 177-188.
- Uryu, Y., Mott, C., Foead, N., Yulianto, K., Budiman, A., Setiabudi, . . . , & Stuwe, M. (2008). *Deforestation, Forest Degradation, Biodiversity Loss and CO₂ Emissions in Riau*,

- Sumatra, Indonesia*. Jakarta, Indonesia: WWF Indonesia Technical Report.
- Uryu, Y., Purastuti, E., Laumonier, Y., Sunarto, Setiabudi, Budiman, A., . . ., & Stuwe, M. (2010). *Sumatra's Forests, their Wildlife and the Climate - Windows in Time: 1985, 1990, 2000 and 2009* (pp. 69). Jakarta, Indonesia: WWF-Indonesia.
- van der Werf, G. R., Morton, D. C., DeFries, R. S., Olivier, J. G. J., Kasibhatla, P. S., Jackson, R. B., . . ., & Randerson, J. T. (2009). CO₂ emissions from forest loss. [10.1038/ngeo671]. *Nature Geoscience* 2(11), 737-738.
- Verwer, C. C., & Meer, P. J. v. d. (2010). Carbon pools in tropical peat forest - Toward a reference value for forest biomass carbon in relatively undisturbed peat swamp forests in Southeast Asia (pp. 67). Wageningen, The Netherlands: Alterra, Alterra-report 2108.
- Wahyunto, Dariah, A., & Agus, F. (2010). Distribution, Properties, and Carbon Stock of Indonesian Peatland. In Z.-S. Chen & F. Agus (Eds.), *Proceeding of International Workshop on Evaluation and Sustainable Management of Soil Carbon Sequestration in Asian Countries, Bogor, Indonesia, September 28-29, 2010*, (pp. 187-204). Bogor, Indonesia: Indonesian Soil Research Institute, Indonesia, Food & Fertilizer Technology Center, Taiwan and National Institute for Agro-Environmental Sciences, Japan.
- Wahyunto, Heryanto, B., Bekti, H., & Widiastuti, F. (2006). *Peta-peta Sebaran Lahan Gambut, Luas dan Kandungan Karbon di Papua/Maps of Peatlands Distribution, Area and Carbon Content in Papua, 2000-2001 (in Indonesian)*. Bogor, Indonesia: Wetlands International-Indonesia Programme and Wildlife Habitat Canada (WHC).
- Wahyunto, Ritung, S., & Subagjo, H. (2003). *Peta Luas Sebaran Lahan Gambut dan Kandungan Karbon di Pulau Sumatera/Maps of Area of Peatlands Distribution and Carbon Content in Sumatera, 1990-2002 (in Indonesian)*. Bogor, Indonesia: Wetlands International-Indonesia Programme and Wildlife Habitat Canada (WHC).
- Wahyunto, Ritung, S., & Subagjo, H. (2004). *Peta Sebaran Lahan Gambut, Luas dan Kandungan Karbon di Pulau Kalimantan/Maps of Peatlands Distribution, Area and Carbon Content in Kalimantan, 2000-2002 (in Indonesian)*. Bogor, Indonesia: Wetlands International-Indonesia Programme and Wildlife Habitat Canada (WHC).
- Wooster, M. J., & Strub, N. (2002). Study of the 1997 Borneo fires: Quantitative analysis using global area coverage (GAC) satellite data. *Global Biogeochemical Cycles* 16(1), 1009.
- World Bank. (2015). Indonesia's Fire and Haze Crisis Retrieved 29 June 2016, from <http://www.worldbank.org/en/news/feature/2015/12/01/indonesias-fire-and-haze-crisis>
- Wösten, J. H. M., Berg, J. V. D., Van Eijk, P., Gevers, G. J. M., Giesen, W. B. J. T., Hooijer, A., . . ., & Wibisono, I. T. (2006). Interrelationships between Hydrology and Ecology in Fire Degraded Tropical Peat Swamp Forests. *International Journal of Water Resources Development* 22(1), 157 - 174.
- Wösten, J. H. M., Ismail, A. B., & van Wijk, A. L. M. (1997). Peat subsidence and its practical implications: a case study in Malaysia. *Geoderma* 78(1-2), 25-36.
- Yamada, I. (2006). Peat swamp forests in Borneo and Sumatra-Original state, development and disasters during the past 50 years with a proposal for future eco-resource management. *Tropics* 15(4), 329-336.
- Yeager, C. P., Marshall, A. J., Stickler, C. M., & Chapman, C. A. (2003). Effects of fires on peat swamp and lowland dipterocarp forests in Kalimantan, Indonesia. *Tropical Biodiversity* 8(1), 121-138.
- Yule, C. (2010). Loss of biodiversity and ecosystem functioning in Indo-Malayan peat swamp forests. *Biodiversity and Conservation* 19(2), 393-409.