



Konservasi Biocarbon, Lanskap dan Kearifan Lokal untuk Masa Depan

Integrasi pemikiran multidimensi untuk keberlanjutan

Editor: Endang Sukara, Didik Widyatmoko, Sri Astutik

KEBUN RAYA CIBODAS-LIPI



Dinamika diversitas tumbuhan dan cadangan karbon pada skala lanskap dan tutupan lahan

Subekti Rahayu dan Degi Harja

World Agroforestry Centre (ICRAF) Southeast Asia
Jalan CIFOR, Situ Gede, Sindang Barang,
PO Box 161, Bogor 16001, Jawa Barat
Bogor 16115 Indonesia
Email: S.RAHAYU@CGIAR.ORG

Abstrak. Diversitas tumbuhan dan cadangan karbon pada skala lanskap maupun tutupan lahan tidak memiliki hubungan langsung karena tutupan lahan dengan cadangan karbon tinggi belum tentu memiliki diversitas tumbuhan yang tinggi, demikian pula sebaliknya. Meskipun demikian, cadangan karbon dan diversitas tumbuhan dapat dihubungkan dalam mekanisme penilaian untuk kelestarian alam pada umumnya dan kelestarian spesies pada khususnya serta keberlanjutan jasa ekosistem yang dihasilkan. Pada skala tutupan lahan, dinamika perubahan cadangan karbon dan diversitas tumbuhan dapat terjadi akibat proses alami dari ekologi hutan seperti kematian pohon, regenerasi tumbuhan dan pertumbuhan pohon. Untuk mempelajari dinamika cadangan karbon dan diversitas maka diperlukan metode penilaian yang terintegrasi sehingga dapat diperoleh hasil berupa informasi mengenai komposisi diversitas tumbuhan dan cadangan karbonnya pada suatu tipe tutupan lahan, sehingga dapat dijadikan sebagai pertimbangan dalam konservasi spesies dan ekosistemnya, terutama bila dikaitkan dengan pembangunan rendah emisi untuk mengurangi dampak pemanasan global. Tutupan lahan dengan cadangan karbon dan diversitas tumbuhan tinggi dapat dipertimbangkan sebagai areal yang harus dikonservasi. Tulisan ini merupakan hasil analisis dan sintesis dari berbagai data cadangan karbon pada skala tutupan lahan, kerapatan jenis kayu dan diversitas tumbuhan di berbagai wilayah ekologi dan kategori hutan yang dikumpulkan oleh World Agroforestry Centre (ICRAF-SEA), baik dari data pengamatan langsung di lapangan, yang telah dipublikasi dan yang belum dipublikasi serta data sekunder dari berbagai literatur. Artikel ini ditulis dengan tujuan untuk: (1) menerangkan pentingnya identifikasi spesies tumbuhan dalam pendugaan cadangan karbon dan (2) menerangkan dinamika cadangan karbon dan diversitas

tumbuhan pada skala tutupan lahan serta hubungan keduanya.

Kata kunci: cadangan karbon, diversitas tumbuhan, kerapatan jenis kayu, konservasi, pengelolaan lahan rendah emisi

Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki hutan tropis terluas di dunia setelah Brazil dan Congo. Meski demikian, laju kehilangan hutan di Indonesia semakin meningkat hingga tahun 2000. Laju kehilangan hutan antara tahun 1980 – 1990 diperkirakan 1,0 juta hektar per tahun, antara tahun 1990 – 1996 sekitar 1,7 juta hektar per tahun dan antara tahun 1996 – 2000 mencapai 2,0 juta hektar per tahun (FWI/GFW 2001).

Hutan-hutan tropis, terutama yang berada di dataran rendah merupakan tipe hutan yang paling terancam keberadaannya karena diusahakan, alih guna lahan menjadi perkebunan dan hutan tanaman monokultur, perambahan dan pembangunan infrastruktur seperti jalan, penempatan transmigran dan pembangunan sarana lainnya. Sementara itu, hutan-hutan tropis dataran rendah tersebut memiliki persediaan kayu dan diversitas tumbuhan tinggi (Kartawinata 2010; FWI/GFW 2001). Kehilangan hutan tidak hanya terjadi pada hutan dataran rendah saja, tetapi juga banyak terjadi pada kawasan pesisir yang merupakan habitat bagi tumbuhan mangrove yang memiliki jasa ekosistem sebagai penyimpan karbon, penghalang gelombang laut, penahan abrasi dan tempat berpijah bagi berbagai jenis ikan dan udang (FWI/GFW 2001).

Laju kehilangan hutan di Indonesia terus meningkat dan berdasarkan data Climate Change Performance Index, Indonesia berada di peringkat 26 dari 61 negara pengemisi karbon di dunia (German Watch-CAN, 2013). Emisi karbon terjadi karena hilangnya tutupan hutan sebagai penyimpan karbon pada areal yang dikonversi untuk pembangunan infrastruktur, berkurangnya simpanan karbon dari hutan alam dengan total simpanan karbon tinggi menjadi hutan tanaman dan perkebunan monokultur serta tanaman pertanian dan lahan terlantar yang memiliki simpanan karbon lebih rendah, pelepasan karbondioksida (CO₂) akibat pembakaran hutan dan proses dekomposisi dari pembukaan lahan gambut.

Tidak hanya sekedar mengemisikan karbon, tetapi kehilangan hutan berarti kehilangan keanekaragaman hayati yang ada di dalamnya, terutama tumbuhan sebagai komponen utama dalam ekosistem hutan. Kepunahan beberapa spesies tumbuhan terutama spesies-spesies endemik bahkan terjadi akibat kehilangan hutan sebagai habitatnya. Berbagai

spesies kayu komersial yang berpotensi sebagai sumber plasma nutfah dan menyimpan karbon tinggi hilang ketika hutan dikonversi. Berdasarkan fungsinya sebagai penyimpan karbon, maka ekosistem berbasis tumbuhan, terutama pohon dianggap penting dalam mitigasi perubahan iklim.

Dalam rangka mitigasi perubahan iklim, langkah awal yang dilakukan adalah inventarisasi cadangan karbon pada berbagai tipe ekosistem melalui pengukuran dan pendugaan (estimasi) biomasanya dengan menggunakan persamaan alometri yang berbasis pada unit individu pohon (Hairiah et al. 2011). Salah satu faktor penentu biomassa dalam persamaan alometri adalah kerapatan jenis kayu dari individu pohon yang diukur (Chave et al. 2005; Ketterings et al., 2001). Kerapatan jenis kayu yang berbasis pada spesies hanya dapat diketahui apabila spesies dari individu pohon yang diukur diketahui.

Penelitian tentang pengukuran cadangan karbon telah dilakukan oleh berbagai lembaga di Indonesia dengan melibatkan inventarisasi spesies pohon melalui identifikasi spesies yang umumnya berdasarkan pada nama lokal. Identifikasi menggunakan herbarium yang dikumpulkan langsung dari lapangan dalam pengukuran cadangan karbon masih jarang dilakukan. Sejauh ini, pengukuran cadangan karbon dan inventarisasi jenis pohon masih dilihat secara parsial sebagai suatu komponen yang harus dipenuhi dalam aplikasi alometri untuk mengestimasi biomassa, meskipun pelaksanaannya dilakukan secara bersamaan. Analisis mengenai pentingnya mengintegrasikan keduanya melalui identifikasi spesies berdasarkan taksonominya belum banyak dilakukan. Tulisan ini ditujukan untuk: (1) menunjukkan pentingnya melakukan identifikasi spesies dalam inventarisasi cadangan karbon pada suatu ekosistem untuk memberikan gambaran kondisi spesies pada saat dilakukan pengukuran dan (2) menunjukkan manfaat lebih lanjut dari hasil inventarisasi spesies dan cadangan karbon dalam pengambilan keputusan pengelolaan suatu ekosistem yang rendah emisi dan kaya diversitas.

Identifikasi spesies pada pendugaan cadangan karbon

Pendugaan cadangan karbon yang terkandung pada satu pohon harus dilakukan dengan mengukur biomassa pohon itu sendiri. Pengukuran biomassa dilakukan dengan dua cara yaitu: (1) menebang dan menimbang seluruh biomassa dari bagian pohon tersebut; atau (2) melalui pendugaan biomassa menggunakan persamaan alometri. Cara yang kedua adalah cara yang sebaiknya dipakai untuk menduga karbon, karena tanpa melakukan perusakan dan tetap menjaga lingkungan dan ekologi dimana pohon tersebut tumbuh.

Pendugaan biomassa dengan persamaan alometri dilakukan

dengan mengukur indikator volume bagian kayu dari satu pohon. Indikator penduga volume itu adalah diameter batang atau juga tinggi pohon. Setelah menduga volume bagian kayu, hasil pendugaan tersebut dikalikan dengan berat jenis kayu untuk mendapatkan nilai berat biomassa (Gambar 1).



Gambar 1. Komponen dalam pengukuran biomassa pohon untuk menduga cadangan karbon pada tingkat individu pohon

Pengukuran berat jenis kayu dapat dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu: (1) mengambil contoh kayu dari tiap individu pohon yang diukur berat dan volumenya di lapangan, kemudian di analisis di laboratorium untuk mendapatkan nilai kadar airnya; dan (2) menggunakan pendugaan melalui kesamaan spesies. Dalam hal ini diasumsikan bahwa individu pohon dengan jenis spesies yang sama akan mempunyai rentang berat jenis kayu yang sama (Seng 1964; Hairiah et al., 2011). Pada metode kedua tersebut dibutuhkan ketersediaan data spesies - berat jenis kayu sebagai acuan. Basis data kerapatan jenis kayu untuk beberapa spesies saat ini telah tersedia di website World Agroforestry Centre (World Agroforestry Centre, 2013). Masing-masing pendekatan tersebut di atas memiliki kekurangan dan kelebihan. Pendekatan pertama, menghasilkan nilai kerapatan jenis kayu lebih akurat untuk tiap individu pohon yang diukur, sehingga akurasi pendugaan cadangan karbon pun akan lebih tinggi. Pada pendekatan ini jenis spesies tidak perlu diketahui, akan tetapi dibutuhkan biaya yang sangat tinggi karena harus mengukur contoh kayu untuk masing-masing individu. Sementara itu, pada pendekatan kedua, pendugaan kerapatan jenis kayu hanya dilakukan dengan identifikasi individu pohon yang bersangkutan, kemudian dicocokkan dengan daftar spesies-berat jenis kayu.

Keuntungan metode pendugaan berat jenis kayu melalui kesamaan spesies, selain sangat murah dan cepat, informasi spesies dapat digunakan dalam analisis lebih lanjut untuk mengetahui informasi tentang komposisi dan keragaman spesies yang ada di dalam ekosistem tersebut.

Data tentang keberadaan spesies pada suatu ekosistem dapat menjadi dasar pertimbangan dalam upaya konservasi spesies dan ekosistem yang merupakan habitatnya. Di samping cadangan karbon, maka jasa lingkungan keragaman spesies atau keanekaragamanhayati

dapat diperoleh sekaligus dari data tersebut.

Kesulitan dalam metode pendugaan berat jenis kayu dari kesamaan spesies adalah dalam identifikasi spesies. Tidak banyak ahli taksonomi tumbuhan di Indonesia saat ini, sehingga tidak sedikit data inventori karbon mencantumkan jenis pohon yang tidak teridentifikasi. Akan tetapi identifikasi dengan nama lokal biasanya masih dapat dilakukan. Nama lokal ini selanjutnya dicari padanannya dengan nama ilmiah yang sudah diketahui berdasarkan basis data yang telah tersedia untuk mendapatkan komponen nilai kerapatan jenis kayu.

Tidak semua nama lokal mempunyai padanan jenis spesies. Pada umumnya nama lokal yang digunakan oleh masyarakat setempat hanya mengacu pada tingkat genus atau famili. Sebagai contoh, meranti merupakan nama lokal yang umum disebutkan untuk genus *Shorea*, sedangkan genus *Shorea* memiliki lebih dari 30 spesies. Sementara itu, kerapatan jenis kayu untuk spesies pada genus yang sama memiliki variasi nilai yang berbeda.

Analisis terhadap lebih dari 10.000 spesies yang terdiri dari sekitar 1.000 genus menunjukkan bahwa apabila dalam pendugaan cadangan karbon menggunakan nama lokal yang mengacu pada genus maka kemungkinan galat yang terjadi dapat mencapai 70%. Hal tersebut terjadi karena rentang nilai kerapatan jenis kayu antar spesies pada genus yang sama sangat lebar. Sebagai contoh, genus *Shorea* memiliki kisaran nilai kerapatan jenis kayu antara 0,38 – 0,98.

Berdasarkan pada hasil analisis tersebut, maka identifikasi pohon sampai tingkat spesies sangat penting untuk menghindari bias dalam pendugaan cadangan karbon. Semakin akurat identifikasi spesies maka dapat mengurangi terjadinya galat yang besar pada komponen kerapatan jenis kayu.

Diversitas tumbuhan di Indonesia

Indonesia yang berada pada daerah tropis dikenal kaya akan diversitas tumbuhan, bahkan menduduki peringkat lima dunia, karena tercatat memiliki lebih dari 38.000 spesies tumbuhan yang 55% diantaranya termasuk endemik. Indonesia menempati urutan kedua setelah Brazil dalam peringkat keberadaan spesies endemik. Lebih dari 175 spesies pohon atau 50% dari total penghasil kayu bernilai ekonomi penting Famili Dipterocarpaceae terdapat di Indonesia (BAPPENAS 2003).

Diversitas tumbuhan di Indonesia tersebar di berbagai tipe formasi hutan mulai dari hutan pantai, hutan mangrove, hutan rawa, hutan dataran rendah, hutan kerangas hingga hutan pengunungan dan hutan-hutan rakyat yang dikelola oleh masyarakat seperti kebun damar, kebun

karet campur (Kartawinata 2010; BAPPENAS 2003). Dari berbagai tipe formasi hutan tersebut, hutan dataran rendah di Kalimantan Timur memiliki keanekaragaman spesies pohon paling tinggi mencapai lebih dari 200 spesies dalam luasan satu hektar, kemudian diikuti hutan dataran rendah Sumatra sekitar 180 spesies, hutan dataran rendah di Sulawesi 176 spesies dan hutan pengunungan di Jawa sekitar 80 spesies (Kartawinata, 2010).

Kehilangan hutan dataran rendah yang merupakan bagian terluas dari hutan di Indonesia berakibat pada tingginya kehilangan Diversitas tumbuhan (FWI/GFW 2001). Pada luasan satu hektar, kehilangan keanekaragaman spesies pohon di hutan dataran rendah yang mengalami kebakaran berulang mencapai lebih dari 150 spesies (Rahayu et al. in prep.). Meskipun biomassa dari hutan bekas terbakar tersebut akan mengalami pemulihan, tetapi komposisi spesiesnya ada kemungkinan tidak dapat pulih kembali seperti kondisi sebelum terbakar. Pemulihan komposisi spesies setelah kerusakan hutan dapat mencapai 150 - 500 tahun apabila suksesi berjalan normal (Riswan et al., 1985; McKinnon et al., 1996). Sebagai salah satu negara yang menandatangani *Convention on Biological Diversity* (CBD) pada tahun 1994, maka Indonesia bertanggung jawab dalam konservasi diversitas dan pemanfaatannya secara berkelanjutan (FWI/GFW, 2001; Secretariat of CBD, 2009). Salah satu wujud dari upaya konservasi diversitas tumbuhan di Indonesia adalah adanya penyusunan strategi dan rencana aksi keanekaragaman hayati dengan menetapkan kawasan-kawasan lindung (BAPPENAS 2003). Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 7 Tahun 2004, disebutkan bahwa indentifikasi dan evaluasi merupakan salah satu komponen dalam perlindungan hutan. Sejalan dengan adanya indentifikasi dan evaluasi tersebut, Peraturan Pemerintah No. 7 Tahun 1999 yang mengatur pengawetan jenis tumbuhan dan satwa telah mencantumkan kriteria jenis tumbuhan yang harus dikonservasi. Bahkan, Pusat Konservasi Tumbuhan Kebun Raya Bogor, telah menerbitkan panduan mengenai spesies prioritas untuk konsevasi tumbuhan (Risna et al., 2010). Oleh karena itu, mengetahui secara pasti tentang keragaman spesies yang ada pada suatu kawasan lindung harus dilakukan untuk menentukan jenis-jenis yang harus dikonservasi dan tipe ekosistem yang menjadi habitatnya.

Konservasi diversitas tumbuhan tidak hanya dilakukan secara *in-situ* di habitat aslinya, tetapi dapat juga dilakukan secara *ex-situ* seperti lahan-lahan agro-ekosistem. Di Indonesia, ada beberapa tipe agro-ekosistem yang potensial untuk dimanfaatkan sebagai areal konservasi *ex-situ* antara lain sistem agroforestri kompleks seperti kebun damar di Lampung Barat yang ditetapkan sebagai Kawasan Hutan dengan Tujuan Khusus (KHDTK), kebun

karet di Jambi dan tembawang di Kalimantan. Konservasi *ex-situ* untuk suatu spesies dapat diintegrasikan ke dalam sistem agroforestri dengan mengetahui karakteristik dan status kelangkaannya. Sebagai contoh, mengintegrasikan cendana (*Santalum album*) pada sistem agroforestri di Nusa Tenggara Timur (Rahayu et al., 2002), gaharu (*Aquilaria malaccensis*) di Nusa Tenggara Barat dan Kalimantan Timur (Soeharto et al., 2007; Wawo, 2011: komunikasi pribadi).

Cadangan karbon di Indonesia

Pendugaan cadangan karbon telah banyak dilakukan pada berbagai ekosistem di Indonesia, terutama pada bagian atas tanah. Sebagian besar cadangan karbon di atas tanah didominasi oleh ekosistem berbasis pohon. Cadangan karbon yang terkandung dalam komponen pohon dapat menyimpan karbon dalam waktu yang lama dan bahkan dapat terus bertambah. Komponen lainnya yaitu tumbuhan tingkat rendah seperti herba, semak dan rumput-rumputan serta tanaman semusim lainnya juga menyimpan cadangan karbon tetapi mempunyai kontribusi yang kecil terhadap keseluruhan cadangan karbon tutupan lahan yang berbasis pohon. Besarnya cadangan karbon pada berbagai ekosistem juga dipengaruhi oleh ukuran komponen pohon, kerapatan populasi dan kerapatan jenis kayu. Selain itu, tipe ekologi tutupan lahan yang dipengaruhi oleh komposisi spesies, tingkat suksesi pada hutan alam atau umur tanaman pada agro-ekosistem seperti perkebunan dan hutan tanaman monokultur dan agroforestri juga akan sangat berpengaruh terhadap besaran cadangan karbonnya.

Pada ekosistem berbasis pohon, komponen pohon memiliki kontribusi terhadap total cadangan karbon rata-rata 70%, sedangkan tumbuhan tingkat rendah seperti herba, semak dan rumput-rumputan tidak lebih dari 5% (Rahayu et al., in prep.). Metode estimasi yang digunakan untuk menduga cadangan karbon merupakan hal yang penting untuk diperhatikan. Bias pendugaan cadangan karbon pada komponen pohon berkisar antara 10-30% (ICRAF, unpublished data) atau bahkan dapat lebih besar tergantung pada metode estimasinya yang meliputi metode sampling yang dilakukan, fungsi alometri yang digunakan, keragaman tutupan lahan, tipe ekologi dan lain-lain.

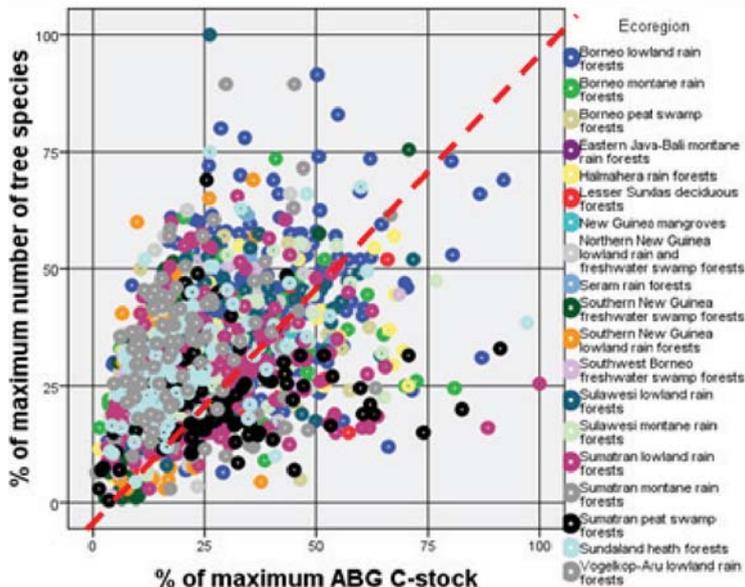
Hasil pengukuran yang dilakukan pada berbagai wilayah ekologis dan kategori hutan di Indonesia menunjukkan kisaran cadangan karbon antara 20 – 250 Mg ha⁻¹ (Gambar 2). Rentang nilai rata-rata cadangan karbon bervariasi antar wilayah ekologis. Hal ini menunjukkan adanya keragaman cadangan karbon untuk kelas tutupan lahan yang sama yang tumbuh pada wilayah dan zona ekologi yang berbeda. Pada Gambar 2

tidak terlihat hubungan yang jelas antara besaran cadangan karbon baik dengan wilayah ekologis maupun kategori hutan. Untuk ini, maka diperlukan pengkajian yang lebih mendalam antara kebutuhan estimasi cadangan karbon pada skala lanskap dengan skala detil klasifikasi tutupan lahan mengingat keragaman klasifikasi yang cukup tinggi.

Di Indonesia, hutan lahan kering dataran rendah yang tidak terganggu memiliki nilai rata-rata cadangan karbon paling tinggi bila dibandingkan dengan ekosistem lainnya, yaitu sekitar 300 Mg ha⁻¹. Sementara, hutan tidak terganggu pada lahan gambut memiliki nilai rata-rata cadangan karbon sekitar 190 Mg ha⁻¹ (ICRAF, unpublished data). Pada hutan dataran rendah tidak terganggu di Kalimantan Timur masih ditemukan pohon dengan kerapatan jenis kayu hampir mendekati 1,0 yang diameter mencapai lebih 100 cm. Pohon tersebut memberikan sumbangan cadangan karbon yang cukup besar dan dapat mencapai lebih dari 40 Mg ha⁻¹ untuk satu individu.

Hubungan antara diversitas tumbuhan dan cadangan karbon

Hasil pengamatan pada 1.500 plot di beberapa kategori hutan antara lain hutan hujan dataran rendah, hutan pegunungan, hutan rawa,



Gambar 3. Persentase jumlah spesies pohon dan cadangan karbon di atas permukaan tanah pada 1.500 plot di berbagai wilayah ekologi dan kategori hutan di Indonesia (Sumber: Dewi and van Noordwijk, 2011).

hutan mangrove dan hutan rawa gambut yang dikelompokkan berdasarkan wilayah ekologi, yaitu Sumatra, Kalimantan, Jawa-Bali, Sulawesi, Halmahera dan Papua New Guinea menunjukkan bahwa hubungan antara jumlah spesies pada luasan satu hektar dengan nilai cadangan karbon di atas permukaan tanah memiliki sebaran acak, namun ada kecenderungan hubungan yang positif (ICRAF, unpublished data). Semakin tinggi jumlah spesies, cadangan karbon di atas permukaan tanah cenderung semakin tinggi jumlah spesies pohon yang ada di dalamnya (Gambar 3).

Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa plot yang berada pada hutan hujan dataran rendah di Kalimantan memiliki jumlah spesies pohon berkisar antara 50 – 80% dari jumlah spesies maksimum dan cadangan karbon berkisar antara 25 – 75% dari cadangan karbon maksimum. Hal ini sejalan dengan beberapa penelitian yang dilakukan di hutan hujan dataran rendah Kalimantan Timur yang memiliki jumlah spesies dalam luasan satu hektar mencapai 141 di Bukit Bangkirai, 211 di Malinau, 221 di Seturan, 225 di Malinau dan 276 di Sebulu (Kartawinata et al., 2008). Nilai tersebut menunjukkan bahwa hutan hujan dataran rendah di Kalimantan memiliki keanekaragaman spesies pohon tinggi dan pada beberapa kondisi juga memiliki cadangan karbon tinggi.

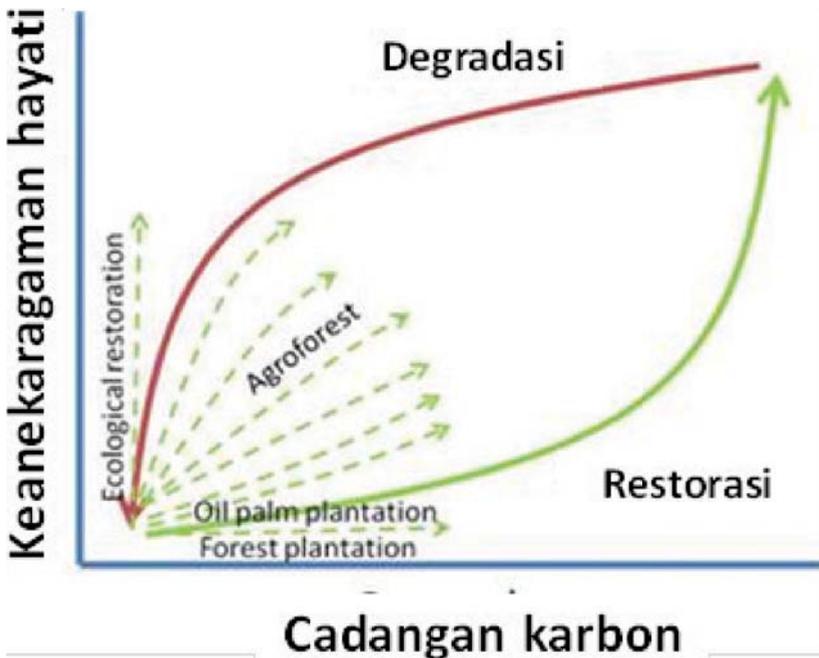
Sementara itu, plot pada hutan pegunungan di Sumatra memiliki jumlah spesies pohon antara 15 – 50% dengan cadangan karbon antara 5 – 50% dan hutan gambut Sumatra memiliki jumlah spesies pohon berkisar antara 0 – 50% dengan cadangan karbon antara 0 – 75%. Keanekaragaman jenis pohon dan cadangan karbon pada hutan hujan dataran rendah Sumatra relatif lebih rendah bila dibandingkan dengan Kalimantan, yaitu berkisar antara 5 - 60%. Meskipun demikian, bukan berarti bahwa keanekaragaman spesies pohon berpengaruh langsung terhadap cadangan karbonnya. Hutan gambut pada umumnya memiliki keanekaragaman pohon relatif lebih rendah bila dibandingkan dengan hutan hujan dataran rendah, tetapi pada beberapa kondisi memiliki cadangan karbon relatif tinggi..

Hubungan antara keanekaragaman spesies pohon dengan cadangan karbonnya pada beberapa formasi hutan dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam membuat keputusan mengenai kondisi hutan yang harus dikonservasi karena memiliki keanekaragaman spesies pohon dan cadangan karbon tinggi. Tahap lebih lanjut, informasi ini dapat diintegrasikan dalam tata ruang suatu daerah dalam rangka mitigasi emisi melalui pembangunan rendah karbon dan melestarikan diversitas.

Dinamika cadangan karbon dan keanekaragaman spesies pohon

Cadangan karbon dan keanekaragaman spesies pohon pada suatu

ekosistem, baik ekosistem alami seperti hutan maupun agro-ekosistem, bersifat dinamis dari waktu ke waktu. Dinamika cadangan karbon dan keanekaragaman spesies pohon pada skala lanskap dapat digambarkan sebagai suatu siklus degradasi dan restorasi seperti terlihat pada Gambar 4. Ketika terjadi degradasi maka cadangan karbon dan keanekaragaman spesies pohon mengalami penurunan akibat gangguan pada ekosistem. Gangguan ini dapat berupa penebangan, pembakaran baik itu secara disengaja maupun tidak disengaja. Setelah mengalami degradasi, seiring dengan waktu maka secara berangsur-angsur akan terjadi penambahan cadangan karbon dan keanekaragaman hayati (restorasi). Besarnya penurunan dan peningkatan cadangan karbon dan keanekaragaman hayati tergantung pada tipe gangguan yang terjadi.



Gambar 4. Dinamika cadangan karbon dan keanekaragam hayati pada tingkat penggunaan lahan (Sumber: Dewi and van Noordwijk, 2009).

Pada agro-ekosistem seperti pertanian, perkebunan, hutan tanaman monokultur dan agroforestri, yang dialih-fungsikan dari ekosistem hutan dengan melibatkan penebangan dan pembakaran akan menyebabkan penurunan cadangan karbon dan keanekaragaman hayati hingga mendekati nilai nol. Sementara itu, laju peningkatannya bervariasi tergantung pada

intervensi manusia sebagai pengelolanya. Pada perkebunan dan hutan tanaman monokultur, peningkatan cadangan karbon terjadi seiring dengan bertambahnya umur tanaman, tetapi diversitasnya mungkin tidak terjadi penambahan. Pada beberapa kasus, ekologi restorasi yang dilakukan pada ekosistem terganggu di kawasan lindung lebih menekankan pada peningkatan diversitas sehingga peningkatan cadangan karbonnya berjalan sangat lambat.

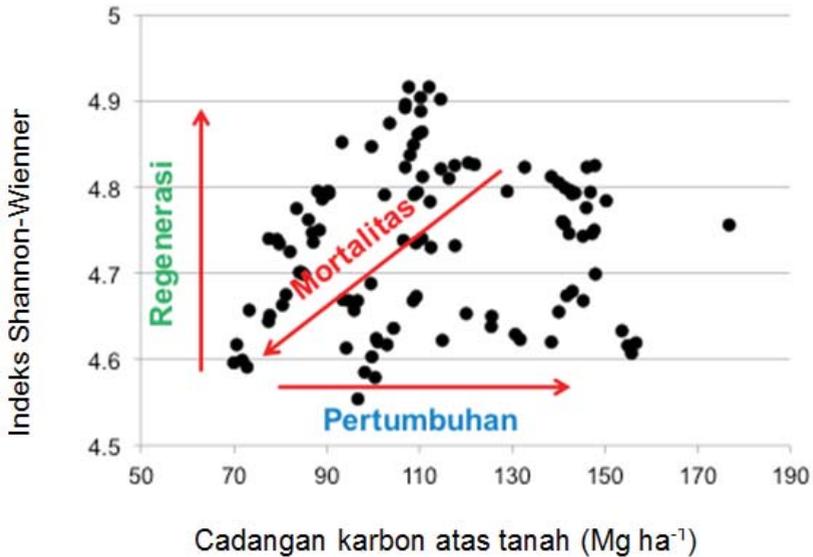
Dalam kaitannya dengan konservasi, baik karbon maupun diversitas tumbuhan, peningkatan diversitas tumbuhan bukan satu-satunya ukuran keberhasilan dalam restorasi ekologi, tetapi pemulihan komposisi spesies seperti kondisi awal merupakan hal yang perlu diperhatikan. Restorasi ekologi pada hutan terganggu diawali dengan regenerasi spesies 'pioneer' yang mendominasi ekosistem tersebut, sehingga menghasilkan peningkatan keanekaragaman hayati secara signifikan (Simbolon 2005; Krisnawati et al., 2011). Pemulihan komposisi seperti kondisi awal hanya dapat diketahui dengan melakukan inventarisasi dan identifikasi sampai pada tingkat spesies.

Agroforestri kompleks seperti damar di Lampung, kebun karet campur di Jambi dan tembawang di Kalimantan merupakan contoh-contoh agro-ekosistem yang memiliki *trade-off* yang cukup seimbang antara cadangan karbon dan diversitas tumbuhan. Sistem pengelolaan lahan tersebut memiliki keanekaragaman spesies lebih besar dari sistem monokultur tetapi masih lebih rendah dari hutan alam, namun memiliki cadangan karbon yang cukup tinggi dan setara dengan hutan alam. Dinamika cadangan karbon dan diversitas tumbuhan tidak hanya terjadi pada skala lanskap, tetapi juga terjadi pada masing-masing tutupan lahan itu sendiri. Dinamika perubahan cadangan karbon biasanya terjadi karena laju mortalitas tegakan dan diikuti dengan pertumbuhan tumbuhan-tumbuhan muda. Laju regenerasi disisi lain menghasilkan tumbuhan-tumbuhan muda yang akan berkontribusi pada penambahan cadangan karbon dan sekaligus meningkatkan indeks keragaman lokal.

Pengamatan terhadap beberapa plot permanen hutan tidak terganggu menunjukkan adanya dinamika hubungan antara cadangan karbon dan keanekaragaman spesies pohon (Gambar 5). Keanekaragaman spesies pohon pada hutan tidak terganggu yang diamati berkisar antara 4,5 – 4,9 (indeks Shannon-Wiener) dengan cadangan karbon antara 50 – 160 Mg ha⁻¹. Variasi hubungan antara keanekaragaman spesies pohon yang dinyatakan dalam Indeks Shannon-Wiener dan cadangan karbon

di atas tanah yang terjadi pada plot permanen di hutan tidak terganggu dapat dilihat pada Gambar 5.

Gambar 5 menunjukkan bahwa tidak ada hubungan yang jelas antara cadangan karbon pada satu areal hutan dengan indeks diversitasnya. Akan tetapi beberapa hal berikut dapat menjadi penjelasan penyebab dinamika yang terjadi antara cadangan karbon dan diversitas tumbuhan.



Gambar 5. Dinamika cadangan karbon dan keanekaragaman spesies pohon pada hutan tidak terganggu.

1. Pertumbuhan. Pertumbuhan pohon yang berarti penambahan ukuran diameter dan atau tinggi. Pertumbuhan pohon akan berpengaruh langsung terhadap penambahan cadangan karbon, tetapi pertumbuhan pohon ini mungkin tidak berpengaruh langsung terhadap keanekaragaman spesies pohon. Akan tetapi pada tahap tertentu, pertumbuhan ini akan membawa pohon menuju tingkat dewasa dan siap untuk menjadi induk regenerasi. Semakin banyak pohon dewasa maka akan semakin banyak sumber benih untuk regenerasi selanjutnya sehingga dapat menjadi sumber untuk peningkatan indeks keragaman. Pengaruh pertumbuhan pohon pada Gambar 5 ditunjukkan oleh tanda panah yang mengarah

pada titik-titik yang memiliki nilai cadangan karbon tinggi, akan tetapi diasumsikan tidak berpengaruh langsung pada peningkatan indeks keanekaragaman spesies.

2. Mortalitas. Indeks keanekaragaman spesies akan menurun jika terjadi penurunan jumlah individu. Jadi mortalitas secara langsung dapat menurunkan indeks keragaman. Akan tetapi selain penurunan indeks keragaman, mortalitas juga secara langsung mempengaruhi cadangan karbon total dari tumbuhan hidup (dimana sebagian pohon yang mati sebagian akan beralih menjadi nekromassa). Kehilangan cadangan karbon karena mortalitas akan lebih dipengaruhi oleh ukuran pohon yang mati itu sendiri. Kematian dari satu spesies pohon berukuran besar berdampak besar terhadap cadangan karbonnya, tetapi ketika satu pohon besar mati maka akan tersedia celah atau rumpang yang cukup besar pula pada tutupan hutan yang bersangkutan. Celah ini merupakan sumber cahaya yang sangat penting bagi tumbuhan bawah dan anakan-anakan yang mulai tumbuh, sehingga anakan-anakan tersebut dapat tumbuh lebih cepat dan mempunyai ketahanan hidup yang lebih meningkat. Pada situasi ini jumlah individu baru akan bertambah dengan lebih cepat dan anakan-anakan baru juga akan lebih cepat bermunculan sehingga secara langsung akan menambah indeks keanekaragaman. Kematian spesies berukuran kecil mungkin berpengaruh terhadap pengurangan keanekaragaman spesies tetapi kematian satu atau dua pohon besar akan dengan segera menambah indeks keragaman, sehingga mortalitas disini berpengaruh sangat besar pada dinamika keanekaragaman spesies. Dinamika keanekaragaman spesies dan karbon akibat mortalitas pohon ditunjukkan oleh tanda panah menuju titik-titik yang memiliki cadangan karbon rendah dan indeks keanekaragaman spesies yang kecil, tetapi itu semua sangat tergantung pada jenis ukuran spesies yang mati.
3. Regenerasi. Tingkat regenerasi sangat tergantung pada jenis ekologi hutan dan tingkat suksesinya. Pada hutan yang terganggu dan terbuka biasanya terjadi tingkat regenerasi yang cukup tinggi. Pada tahap ini spesies yang beregenerasi biasanya adalah jenis

pionir dan spesies yang membutuhkan banyak cahaya. Dalam hal ini, penambahan regenerasi akan diikuti dengan penambahan cadangan karbon karena pohon-pohon yang ada juga masih dapat tumbuh dengan baik. Ketika hutan sudah masuk pada tahap klimaks, percepatan regenerasi biasanya terjadi jika ada rumpang yang terbentuk akibat kematian pohon yang cukup besar (lihat bagian mortalitas). Secara umum, regenerasi berpengaruh langsung terhadap peningkatan keanekaragaman spesies dalam suatu unit area. Tetapi apakah peningkatan keanekaragaman tersebut diikuti peningkatan atau penurunan cadangan karbon itu tergantung pada jenis ekologi dan tingkat suksesinya. Dinamika akibat regenerasi ditunjukkan oleh tanda panah menuju titik-titik dengan indeks keanekaragaman spesies pohon tinggi yang menunjukkan pengaruhnya terhadap peningkatan indeks keragaman.

Kesimpulan

Cadangan karbon dan diversitas tumbuhan merupakan bagian dari jasa lingkungan yang sangat penting dan tidak seharusnya dipisahkan pada mekanisme *assessment* kelestarian alam secara umum. Tidak ada hubungan langsung antara cadangan karbon dan Diversitas baik pada skala lanskap maupun pada masing-masing tutupan lahan. Tutupan lahan dengan cadangan karbon tinggi belum tentu diikuti dengan Diversitas yang tinggi, begitu pula sebaliknya. Semua tergantung dengan tipe tutupan lahan dan jenis ekologinya.

Dinamika perubahan cadangan karbon dan diversitas tumbuhan juga dapat terjadi pada masing-masing jenis tutupan lahan. Pada hutan baik yang terganggu maupun yang tidak terganggu, dinamika yang terjadi adalah akibat reaksi alami dari ekologi hutan itu sendiri berupa mortalitas, regenerasi dan pertumbuhan tanaman.

Guna mempelajari lebih lanjut tentang dinamika cadangan karbon dan diversitas tumbuhan ini maka diperlukan metode *assessment* yang lebih terintegrasi antara pengamatan cadangan karbon dan diversitas tumbuhan. Identifikasi pohon sangat penting untuk dilakukan sampai tingkat spesies, selain diperlukan untuk mengurangi bias kerapatan jenis kayu dalam pendugaan cadangan karbon, juga dapat dipakai untuk *assessment* diversitas tumbuhan. Informasi mengenai komposisi spesies pohon dan diversitas yang sekaligus diperoleh saat pendugaan cadangan karbon

pada satu tutupan lahan dapat dijadikan sebagai pertimbangan konservasi spesies dan ekosistemnya, terutama jika dikaitkan dengan pembangunan rendah karbon untuk mengurangi dampak pemanasan global.

Daftar Pustaka

- BAPPENAS. 2003. **Strategi and Rencana Aksi Keanekaragaman Hayati Indonesia 2003 - 2020**. Dokumen Nasional. Pemerintah Republik Indonesia.
- Chave J, C Andalo, S Brown, MA Cairns, JQ Chambers, D Eamus, H Folster, F Fromard, N Higuchi, T Kira, JP Lescure, BW Nelson, H Ogawa, H Puig, B Riera and T Yamakura. 2005. **Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests**. *Oecologia* 2005, **145**:87-99. DOI 10.1007/s00442-005-0100-x.
- Dewi S, Ekadinata A and van Noordwijk M. 2011. **Ecosystem functions and REDD+: how and where it matters?**. Presented at The 8th World Congress of International Associations for Landscape Ecology, Beijing, August 18-23, 2011 (unpublished).
- FWI/GFW. 2001. **Keadaan hutan Indonesia**. Forest Watch Indonesia dan Global Forest Watch. Bogor-Washington D.C.
- Germanwatch-CAN. 2013. **The Climate Change Index Performance**. [<http://germanwatch.org/en/download/7158.pdf>], Downloaded on 6 March 2013.
- Hairiah K., Ekadinata A., Sari RR. Dan Rahayu S. 2011. **Pengukuran cadangan karbon: dari tingkat lahan ke tingkat bentang lahan**. World Agroforestry Centre. Bogor.
- Harja D, Dewi S, Heryawan FX, van Noordwijk M. 2011. **Perkiraan cadangan karbon hutan berbasis data Inventarisasi Hutan Nasional. ALLREDDI Brief 2**. World Agroforestry Centre (ICRAF) Southeast Asia Regional Program. Bogor. Indonesia.
- Kartawinata K, Purwaningsih, T Partomihardjo, R Yusuf, R Abdulhadi and S Riswan. **Floristic and structure of a lowland dipterocarp forest at Wanariset Semboja, East Kalimantan, Indonesia**. *Reinwardtia* 2008, **12(4)**: 301-323.

- Kartawinata K. 2010. **Dua Abad mengungkap Kekayaan Flora dan Ekosistem Indonesia**. LIPI. Jakarta.
- Ketterings, Q.M., Coe, R., Van Noordwijk, M., Ambagau, Y. and Palm, C. **Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests**. *Forest Ecology and Management* 2001, **146**:199-209.
- Krisnawati H, D Wahjono and R Imanuddin. **Changes in the species composition, stand structure and aboveground biomass of lowland dipterocarp forest in Samboja, East Kalimantan**. *Journal of Forestry Research* 2011, **8 (1)**: 1-16.
- Mackinnon K, G Hatta, H Halim and A Mangalik. 1996. **The ecology of Kalimantan Indonesian Borneo. The Ecology of Indonesia Series III**. Periplus Editions (HK) Ltd., Singapore.
- Rahayu S, AH Wawo, M van Noordwijk dan K Hairiah. 2002. **Cendana: deregulasi dan strategi pengembangannya**. World Agroforestry Centre (ICRAF-SEA). Bogor. Indonesia.
- Riswan S, JB Kenworthy and K Kartawinata. **The estimation of temporal processes in tropical rain forest: a study of primary mixed dipterocarp forest in Indonesia**. *Journal of Tropical Ecology* 1985, **1**: 171-182.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity. 2009. **Sustainable Forest Management, Biodiversity and Livelihoods: A Good Practice Guide**. Montreal, 47p.
- Seng, OD. 1964. **Berat Jenis dari jenis-jenis kayu di Indonesia dan pengertian beratnya kayu untuk keperluan praktek**. Pengumuman LPHH no. 1, Bogor.
- Soeharto B, S Budidarsono and M van Noordwijk. 2007. **From depleted forest resource to profitable agroforest component: ex ante impact appraisal of *Aquilaria* spp. (Thymelaceae) biotechnology**. World Agroforestry Centre (ICRAF-SEA). Poster.
- Simbolon H. 2005. **Dinamika hutan dipterocarp campuran Wanariset Semboja, Kalimantan Timur setelah tiga kali kebakaran Tahun 1980-2003**. *Biodiversitas* 2005, **6 (2)**:133-138.