

PENDUGAAN PERUBAHAN STOK KARBON DI TAMAN NASIONAL BROMO TENGGER SEMERU

(Estimating the Changes of Carbon Stocks in Bromo Tengger Semeru National Park)

RAHIMAHYUNI FATMI NOOR^{1,2}, I NENGAH SURATI JAYA³, NINING PUSPANINGSIH⁴

¹⁾Program Studi Ilmu Pengellaan Hutan, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Kampus Dramaga, Bogor 16680, Indonesia,

²⁾Balai Besar Penelitian Dipterokarpa, Badan Litbang dan Inovasi Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Jln. AW Syahrani No 68 Sempaja Samarinda

^{3,4)}Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Bogor
Email: fatmitjik@gmail.com Telp: +6281316104396

Diterima 11 Maret 2015 / Disetujui 23 April 2015

ABSTRACT

Recently a comprehensive source of data and information on carbon storage in various types of forest ecosystems and other land use in Java Island are still limited. This study was carried out in a conservation area of Bromo Tengger Semeru National Park (TNBTS) that represents the ecosystem types of lowland rain forest, sub-montane forests and mountain forests in Java. The information on carbon sequestration and carbon stocks at TNBTS becomes important. The main objective of this study was to estimate biomass and carbon storage in various types of forests in TNBTS using allometric approaches. The additional objectives were to estimate carbon storage on various land cover and to estimate the changes in carbon storage by land cover changes during the period 1990, 2000 and 2013. The measurement of forest carbon include aboveground, understorey, necromass and litter pools covering all ecosystem such as primary forest, secondary forest with high- and low- canopy density. This study found that the average of carbon stocks in primary forest were $193,49 \pm 125,98$ tonC/ha, and were $267,42 \pm 119,25$ tonC/ha in secondary forest. The total carbon stocks in the period 1990–2000 has decreased about 22.6 tonC/ha/year and in the period 2000–2013 has increased about 41.2 tonC/ha/year. The enhancement of carbon stocks in this area was driven by an intensive forest protection, good monitoring and land rehabilitation.

Keywords: biomass, carbon storage, carbon stock, land cover, national park

ABSTRAK

Saat ini sumber data yang komprehensif mengenai simpanan karbon di berbagai tipe ekosistem hutan dan penggunaan lahan lain masih terbatas. Penelitian ini dilakukan di kawasan konservasi Taman Nasional Bromo Tengger Semeru (TNBTS) yang mewakili tipe ekosistem hutan hujan dataran rendah, hutan sub-montana dan hutan montana di Jawa. Dalam melihat fungsi TNBTS sebagai penyerap karbon, informasi mengenai jumlah karbon yang ditambat (stok karbon) oleh TNBTS menjadi penting. Tujuan penelitian ini adalah menduga biomassa dan simpanan karbon pada berbagai tipe hutan di TNBTS dengan metode alometrik, menduga simpanan karbon pada berbagai tutupan lahan dan menduga perubahan simpanan karbon berdasarkan perubahan tutupan lahan tahun 1990, 2000 dan 2013. Sumber karbon hutan yang diukur meliputi biomassa di atas permukaan tanah, tumbuhan bawah, nekromasa dan serasah pada ekosistem hutan primer, hutan sekunder dengan kerapatan tajuk tinggi dan rendah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata penyimpanan karbon di hutan primer adalah $193,49 \pm 125,98$ tonC/ha, dan di hutan sekunder adalah $267,42 \pm 119,25$ tonC/ha. Total karbon tersimpan di TNBTS pada periode 1990–2000 mengalami penurunan sebesar 22,6 tonC/ha/tahun dan pada periode 2000–2013 mengalami peningkatan sebesar 41,2 tonC/ha/tahun. Peningkatan stok karbon disebabkan oleh perlindungan dan pemantauan kawasan hutan secara intensif dan rehabilitasi lahan.

Kata kunci: biomassa, cadangan karbon, stok karbon, taman nasional, tutupan lahan

PENDAHULUAN

Saat ini informasi simpanan karbon telah menjadi isu strategis terkait dengan pengelolaan hutan lestari. Sebagai bagian dari upaya adaptasi dan mitigasi perubahan iklim, sejak tahun 1996 *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) telah mengembangkan metode inventarisasi GRK, yaitu melalui *IPCC Guideline Revised 1996*, *IPCC Good Practice Guidance 2000* dan *IPCC Guideline 2006* (IPCC 2006). Perhitungan emisi dalam kegiatan *Reducing Emission from Deforestation*

and Degradation+ (REDD+) sesuai dengan *IPCC Guideline 2006* harus berdasarkan data perubahan tutupan hutan yang diturunkan dari data penginderaan jauh (inderaja), besaran faktor emisi dan faktor serapan lokal serta tersedianya data kerusakan hutan seperti akibat *illegal logging*, kebakaran, dan data lainnya (GOFC-GOLD 2009).

Upaya mitigasi perubahan iklim di Indonesia memerlukan data dari kegiatan inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) yang memonitor penurunan emisi. Perhitungan emisi di Indonesia dilakukan dengan

menghitung perbedaan simpanan karbon (*carbon stock*) pada waktu tertentu (*stock difference method*) (Badan Litbang Kementerian Kehutanan 2011)

Biomassa adalah kunci penting dalam menilai suatu ekosistem (Chapin *et al.* 2002). Informasi tentang biomassa di atas tanah (*aboveground biomass*, AGB) diperlukan untuk memperkirakan dan memprediksi produktivitas ekosistem, simpanan karbon, pembagian unsur hara, dan akumulasi bahan bakar (Brown 2002). Pendugaan AGB di daerah tropis masih terbatas terutama tegakan yang masih hidup dan variasinya pada seluruh bentuk bentang alam dan tipe hutan (Houghton 2007).

Kemampuan untuk memetakan biomassa hutan sangat penting untuk melihat perubahan struktur hutan dan perubahan simpanan karbon (Labrecque *et al.* 2006). Pendugaan biomassa pohon secara spasial sangat penting dalam pengelolaan dan perencanaan hutan (Keller *et al.* 2001). Hutan merupakan obyek spasial yang sangat luas dan dalam melakukan perhitungan stok karbon dapat dilakukan dengan memanfaatkan teknologi inderaja, karena inderaja merupakan pendekatan yang terbaik untuk menduga biomassa pada tingkat regional apabila data lapangan sulit didapatkan (Anaya *et al.* 2009).

Ada dua jenis data yang digunakan untuk menghitung biomassa hutan. Data yang pertama adalah data observasi lapangan yang merupakan cara yang paling praktis untuk menduga AGB (Brown 2002), dan dalam pendugaan biomassa pohon dan tegakan biasanya dilakukan melalui pengukuran diameter dan tinggi pohon serta struktur tegakan dengan menggunakan model statistik (Parresol 1999; Jenkins *et al.* 2003), tetapi cara ini membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang besar untuk area yang luas (Xie *et al.* 2009). Data yang kedua adalah data yang diperoleh dengan menggunakan inderaja. Data ini mempunyai cakupan area yang luas, lebih efisien dalam pengumpulan dan pengolahan datanya sehingga dapat memberikan data yang lengkap dalam waktu relatif singkat serta dapat memantau kondisi suatu wilayah yang sama secara berkala (Jaya 2011).

Data dan informasi mengenai simpanan karbon untuk hutan alam di Pulau Jawa dirasakan masih sangat terbatas. Data potensi simpanan karbon pada berbagai tutupan lahan dapat dilihat pada Tabel 1 berikut. Ada keterbatasan mengenai data simpanan dan potensi biomassa di hutan alam pegunungan dataran tinggi di Jawa Timur, khususnya di kawasan konservasi TNBTS. Informasi mengenai jumlah karbon yang ditambat (stok karbon) oleh TNBTS menjadi penting. Oleh karena itu perlu dikembangkan metoda-metoda untuk menghitung dan menduga simpanan karbon serta memantau perubahannya secara periodik di kawasan TNBTS.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah menduga biomassa dan simpanan karbon pada berbagai tipe ekosistem hutan di TNBTS, tujuan tambahan adalah menduga simpanan karbon pada berbagai tutupan lahan dan menduga perubahan simpanan karbon berdasarkan perubahan tutupan lahan tahun 1990, 2000 dan 2013.

METODE

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Mei–Juli 2014 di TNBTS Jawa Timur yang secara geografis terletak antara 112°47'45"–113°07'30" BT dan antara 7°51'30"–8°11'00" LS. Berdasarkan Surat Menteri Kehutanan No.SK.178/ Menhut-II/2005 menetapkan bahwa TNBTS mempunyai luasan 50.276,20 hektar yang terletak di Kabupaten Pasuruan, Kabupaten Probolinggo, Kabupaten Lumajang dan Kabupaten Malang, Propinsi Jawa Timur. Peta sebaran titik plot contoh tersaji pada Gambar 1.

Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data pengukuran dan observasi lapangan pendugaan kandungan karbon di berbagai ekosistem yang ada di TNBTS, peta tutupan hutan dan lahan Kementerian Kehutanan tahun 1990, 2000, dan 2013 di TNBTS, peta batas administrasi dan peta jaringan jalan Propinsi Jawa Timur, data statistik Kabupaten dalam angka Propinsi Jawa Timur tahun 2013, serta data kondisi umum lokasi penelitian.

Metode Penelitian

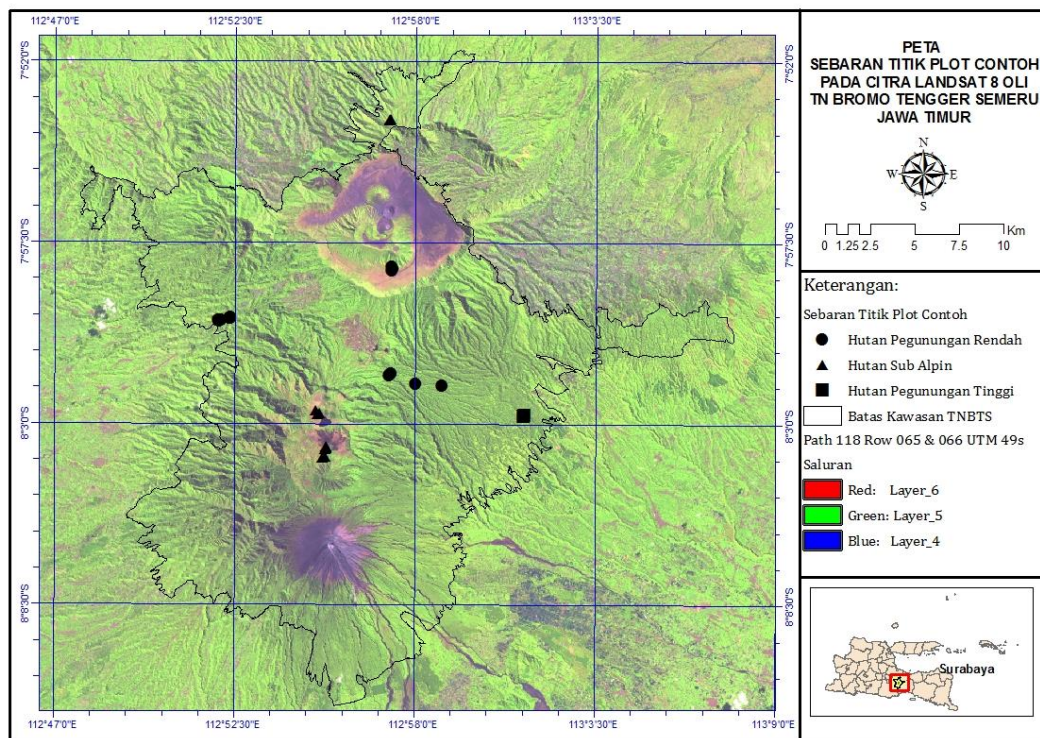
Tahapan penelitian mulai dari pengolahan peta, pengumpulan data di lapang hingga proses akhir penelitian tersaji dalam Gambar 2.

Pengambilan Data Lapangan

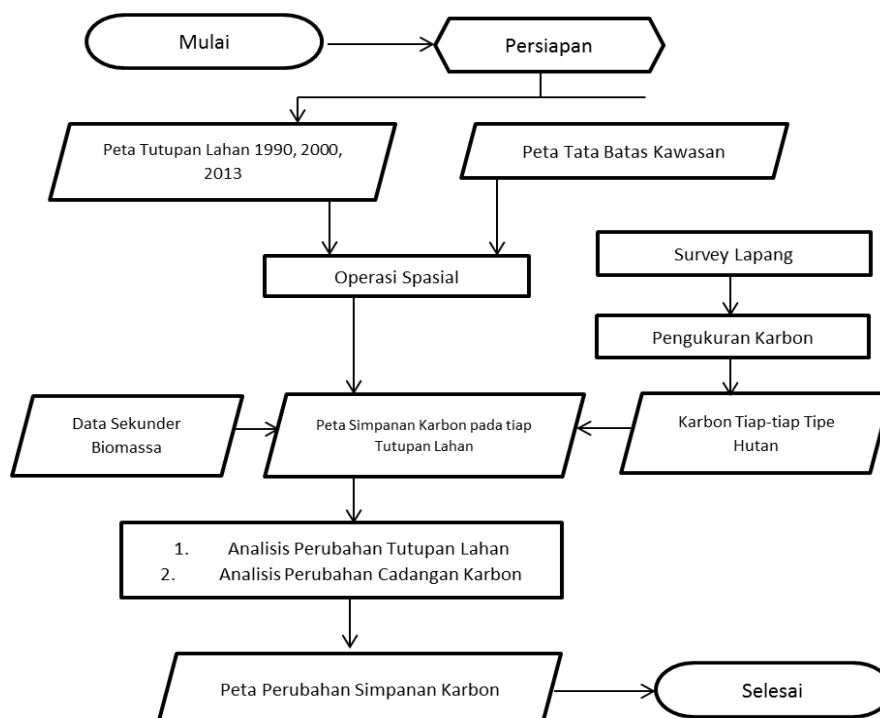
Pengumpulan data untuk mengetahui jumlah biomassa dan sediaan karbon diperoleh dengan melakukan pengukuran langsung di lapangan. Tahap lapangan dilakukan pada lokasi-lokasi yang telah ditentukan sebagai contoh dalam penelitian ini. Tahapan pengukuran biomassa di atas permukaan tanah dimulai dari pembuatan plot pengukuran, pengukuran biomassa pohon, pengukuran biomassa tumbuhan bawah dan serasah serta pengukuran biomassa nekromassa. Jenis data lapangan yang akan dikumpulkan tersaji pada Tabel 2.

Pengukuran Biomassa Tumbuhan

Pengumpulan data untuk mengetahui jumlah biomassa dan stok karbon diperoleh dengan melakukan pengukuran langsung di lapangan. Lokasi pengambilan contoh ditentukan berdasarkan informasi awal tipe ekosistem di lokasi penelitian. Teknik pengambilan contoh yang digunakan adalah pengambilan contoh didasarkan kebutuhan penelitian (*purposive sampling*).



Gambar 1. Peta sebaran titik plot contoh di TNBTS



Gambar 2. Tahapan pendugaan perubahan cadangan karbon di TNBTS

Tabel 2. Jenis data yang dikumpulkan dan diukur di lapangan tahun 2013

No	Komponen biomassa	Definisi	Cara	Ukuran plot	Jenis data yang dikumpulkan
1	Pohon	Pohon berdiameter 2–10 cm Pohon berdiameter 10–20 cm Pohon berdiameter >20 cm	Non destruktif	5 m x 5 m 10 m x 10 m 20 m x 20 m	Nama jenis, diameter (dbh), berat jenis kayu
2	Tumbuhan bawah	Semua vegetasi yang tumbuh di lantai hutan berupa herba, semak atau liana	Destruktif	2 m x 2 m	Berat basah total, berat basah contoh, berat kering sub contoh
3	Serasah	Semua bahan organik di lantai hutan yang belum terdekomposisi secara sempurna yang ditandai dengan masih utuhnya bentuk jaringan	Destruktif	2 m x 2 m	Berat basah total, berat basah contoh, berat kering sub contoh
4	Nekromassa	Semua pohon mati yang berdiri maupun kayu mati atau bagian pohon yang telah rebah termasuk batang, cabang dan ranting	Destruktif	20 m x 20 m	Diameter (dbh), diameter ujung, diameter pangkal, panjang, berat jenis

Sumber: SNI 7724:2011

Tahapan pengukuran biomassa di atas permukaan tanah dimulai dari pembuatan plot pengukuran, pengukuran biomassa pohon, yakni pada tingkat pancang dan tiang, dihitung jumlah pohon per ha pada sub-plot B. Tingkat pancang yang diukur berada dalam rentang diameter 5–9,99 cm dan tingkat tiang yang diukur berada dalam diameter 10–19,99 cm. Pada tingkat pohon, dihitung jumlah pohon per ha pada sub-plot C, yang berada dalam rentang ≥ 20 cm., pengukuran biomassa tumbuhan bawah dan serasah serta pengukuran biomassa nekromassa.

Tahap Perhitungan Biomassa Sampel

Data hasil pengukuran lapangan diolah dengan menggunakan persamaan seperti yang tersaji pada Tabel 3. Estimasi jumlah karbon tersimpan pada setiap komponen biomassa dihitung dengan cara mengalikan total biomassa dengan konsentrasi karbon organik sebesar 0,47 sesuai dengan IPCC (2006) dan SNI 7724:2011. Biomassa hasil perhitungan memiliki satuan berat per luasan plot, dengan demikian setiap plot sampel akan memiliki nilai biomassa dan stok karbon masing-masing.

Stratifikasi

Stratifikasi bertujuan mengelompokkan tapak berdasarkan peta tutupan lahan (*land cover*) yang diperoleh dari Dirjen Planologi Kemhut. Pada penelitian ini stratifikasi dilakukan secara global dengan mengelaskan hutan primer berdasarkan kerapatan vegetasinya, yaitu (1) hutan primer dengan tutupan

vegetasi rapat dan (2) hutan primer dengan tutupan vegetasi jarang. Untuk setiap setiap kelas kerapatan dilakukan 3 kali ulangan. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran biomassa pada 27 plot yang tersebar pada seluruh tipe ekosistem hutan yang ada pada TNBTS.

Pendugaan Perubahan Simpanan Karbon

Data perubahan penutupan lahan dihasilkan dari data yang berasal dari data penutupan lahan tahun 1990, 2000 dan 2013. Data penutupan lahan multiwaktu tersebut selanjutnya dilengkapi dengan atribut berupa kerapatan simpanan karbon di setiap tipe penutupan lahan hasil pengukuran di lapang dan studi literatur. Hasil akhirnya berupa jumlah perubahan simpanan karbon yang tersimpan di lokasi penelitian berdasarkan data simpanan karbon di setiap penutupan lahan dan perubahan penutupan lahan di TNBTS pada tahun 1990, 2000 dan 2013.

Informasi luas tiap kelas penutupan lahan lalu dikalikan dengan data hasil perhitungan simpanan karbon di atas permukaan tanah dari kelas penutupan lahan yang bersangkutan. Hasil yang diharapkan adalah dugaan simpanan karbon berdasarkan tipe penutupan lahan pada waktu yang berbeda, sehingga dapat diketahui perubahan simpanan karbon berdasarkan perubahan penutupan lahan.

Perubahan simpanan karbon berkorelasi terhadap perubahan penutupan lahan. Semakin luas suatu areal tutupan lahan maka semakin besar simpanan karbon dalam areal tersebut.

Tabel 3. Persamaan penghitungan biomassa

No	Komponen biomassa	Persamaan untuk menghitung biomassa	Keterangan	Data yang dihasilkan
1	Pohon	$Y = 0,1728 \times DBH^{2,2234}$ (Siregar dan Dharmawan 2009) $Y = 0,0509 \times \rho \times DBH^2 \times T$ (Chave <i>et al.</i> 2005) $Y = 0.11 \rho DBH^{2,62}$ (Ketterings <i>et al.</i> 2001)	Y: biomassa per pohon (kg) D: dbh (cm) P: berat jenis kayu (gr/cm ³) T: tinggi pohon (m)	Biomassa per pohon (kg)
2	Tumbuhan bawah dan	$Bo = \frac{Bks \times Bbt}{Bbs}$ (SNI 7724:2011)	Bo: berat bahan organik (kg)	Biomassa per plot (kg)
3	Serasah		Bks: berat kering contoh (kg) Bbt: Berat basah total (kg) Bbs: Berat basah contoh (kg)	Biomassa per plot (kg)
4	Nekromassa	$Bn = Vn \times BJn$ (SNI 7724:2011)	Bn: bahan organik pohon mati atau kayu mati (kg) Vn: volume pohon mati (m ³) BJn: berat jenis kayu pohon mati atau kayu mati (kg/m ³)	Biomassa per plot (kg)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi Floristik

Parameter tegakan yang teridentifikasi di setiap plot penelitian dikategorikan ke dalam tiga tingkat yaitu pancang, tiang dan pohon. Identifikasi parameter tegakan hanya dilakukan dengan menghitung kerapatan pohon

pada ketiga tingkat tumbuhan tersebut. Nilai kerapatan pohon pada berbagai tipe penutupan lahan dihasilkan dari rata-rata kumulatif kerapatan pohon per PSP pada masing-masing tipe penutupan lahan. Parameter tegakan dan diameter pada berbagai tipe penutupan lahan tersaji pada Tabel 4.

Tabel 4. Parameter tegakan dan diameter di berbagai lokasi plot pengukuran biomassa berdasarkan zona ekosistem

Lokasi	Zona ekosistem	Jumlah jenis	Jumlah individu (pohon/ha)			Diameter (cm)		
			Pa	Ti	Phn	Pa	Ti	Phn
Cemoro Kandang	Sub Alpin	1	133	17	338	6.7 - 7.9	13.9	20.1 - 102.7
Ireng-ireng	Sub Montane	15	933	500	333	5.2 - 8.6	11.2 - 18.3	20.2 - 130.5
Ireng-ireng	Montane	11	1333	333	167	5.2 - 9.5	10.1 - 19.2	21.0 - 132.6
Jarak Ijo	Montane	19	1000	333	229	4.0 - 9.6	10.1 - 19.4	20.0 - 80.1
Argowulan	Sub Alpin	3	2133	533	317	2.9 - 9.0	10.0 - 19.2	20.0 - 51.6

Keterangan: Pa= Pancang (5–9.99 cm); Ti= Tiang (10–19.99 cm); Phn= Pohon (≥20 cm)

Tingginya kerapatan pohon di ekosistem hutan pada zona sub-montane menyebabkan tingginya nilai biomassa pada zona tersebut. Namun dari segi ukuran diameter, ekosistem hutan pada zona montane memiliki diameter vegetasi yang maksimum dan diameter minimum tertinggi, khususnya pada tingkat pohon. Pada ekosistem hutan zona montane, ditumbuhi pohon berdiameter 20.2–132.6 cm dan tingginya nilai diameter pada zona ini menyebabkan besarnya nilai biomassa tumbuhan tersimpan yang terdapat di dalamnya. Rekapitulasi biomassa untuk setiap plot contoh di lapangan disajikan pada Tabel 5.

Lokasi penelitian mewakili tipe ekosistem yang ada di TNBTS, yakni hutan alam cemara di Cemoro Kandang, Resort Ranu Pani dan hutan sub-montane di Jarak Ijo, Resort Coban Trisula, yang teridentifikasi sebagai tutupan lahan hutan primer, hutan montane di Ireng-ireng, Resort Ranu Pani yang teridentifikasi sebagai tutupan lahan hutan sekunder, padang savana Oro Rombo di Ranu Kombolo, Resort Ranu Pani dan padang savana Bukit Teletubies, Resort Tengger Laut Pasir, yang teridentifikasi sebagai tutupan lahan savana dan hutan rehabilitasi campuran hutan alam dan hutan tanaman di Argowulan, Resort Gunung Pananjakan, yang teridentifikasi sebagai tutupan lahan hutan tanaman.

Tabel 5. Nilai biomassa pada masing-masing plot contoh di TNBTS

No Plot	Biomassa (ton/ha)					Total
	Pohon	Tiang	Pancang	Tumb Bawah	Serasah	
1	938.5	0.0	0.0	6.2	14.7	959.5
2	609.2	0.0	0.0	6.2	14.7	630.1
3	857.7	0.0	0.0	6.2	14.7	878.7
4	286.5	0.0	0.0	5.4	5.8	297.7
5	301.0	0.0	0.0	5.4	5.8	312.3
6	351.4	3.0	1.4	5.4	5.8	367.1
7	0.0	0.0	0.0	4.1	4.8	8.9
8	0.0	0.0	0.0	4.1	4.8	8.9
9	0.0	0.0	0.0	4.1	4.8	8.9
10	525.2	14.1	1.6	3.8	4.8	549.5
11	699.4	16.1	2.5	3.8	4.8	726.6
12	661.4	10.1	2.3	2.7	5.8	682.3
13	369.8	6.6	2.2	2.7	5.8	387.1
14	854.0	20.6	1.4	3.8	4.8	884.6
15	164.4	5.6	1.7	2.7	5.8	180.3
16	258.1	7.3	0.0	5.2	3.8	274.4
17	378.1	11.4	0.0	2.7	11.0	403.2
18	162.2	0.0	1.3	5.2	3.8	172.5
19	171.2	20.7	2.5	5.2	3.8	203.5
20	215.3	9.6	3.3	2.7	11.0	241.9
21	154.6	16.9	3.4	2.7	11.0	188.7
22	0.0	0.0	0.0	5.6	6.8	12.4
23	0.0	0.0	0.0	5.6	6.8	12.4
24	0.0	0.0	0.0	5.6	6.8	12.4
25	47.9	21.2	1.1	3.4	6.6	80.3
26	151.1	19.0	1.5	3.4	6.6	181.6
27	275.0	21.4	4.7	3.4	6.6	311.1

Penutupan Lahan

Hasil klasifikasi penutupan lahan tahun 1990, 2000 dan 2013 menghasilkan 7 tipe penutupan lahan. Hasil klasifikasi menunjukkan tipe penutupan lahan hutan primer memiliki luasan penutupan lahan terbesar. Perubahan tutupan lahan dari tahun 1990 hingga 2013 tersaji pada Tabel 6. Tabel 6 menunjukkan penutupan lahan di TNBTS pada tahun 2000 untuk luasan lahan terbuka berkurang luasannya, dan hutan tanaman mengalami peningkatan luasan. Sedangkan pada tahun 2013 terlihat bahwa hutan sekunder mengalami peningkatan luas yang signifikan dan semak belukar mengalami penurunan luas yang signifikan.

Biomasa dan Simpanan Karbon Tersimpan di Berbagai Tipe Penutupan Lahan.

Berdasarkan hasil perhitungan, penutupan lahan di TNBTS memiliki kisaran rata-rata pendugaan simpanan karbon di hutan primer sebesar 81,3–451,6 tonC/ha, di hutan sekunder sebesar 85,0–416,0 tonC/ha dan di hutan tanaman sebesar 38,0–146,5 tonC/ha. Khusus untuk tipe penutupan lahan yang tidak dilakukan pengukuran secara langsung yaitu pertanian, sawah, dan semak belukar maka digunakan data sekunder yang relevan seperti tersaji pada Tabel 7.

Tabel 6. Perubahan penutupan lahan (ha) di TNBTS tahun 1990–2013

Tutupan Lahan	Tahun 1990		Tahun 2000		Tahun 2013		Perubahan 1990-2000		Perubahan 2000-2013	
	Luas (ha)	%	Luas (ha)	%	Luas (ha)	%	Luas (ha)	%	Luas (ha)	%
Hutan Lahan Kering Primer	41.498,84	81,4	41.577,43	81,5	41.080,91	80,5	78,59	0,2	-496,52	-1,2
Hutan Lahan Kering Sekunder	378,25	0,7	378,25	0,7	1.842,67	3,6	0,00	0,0	1.464,42	387,2
Hutan Tanaman	1.239,16	2,4	3.328,31	6,5	3.694,53	7,2	2.089,15	168,6	366,22	11,0
Lahan Terbuka	5.015,68	9,8	2.059,46	4,0	1.763,14	3,5	-2.956,22	-58,9	-296,32	-14,4
Pertanian	1.531,35	3,0	1.252,82	2,5	1.233,65	2,4	-278,52	-18,2	-19,18	-1,5
Lahan Kering Semak Belukar	1.328,24	2,6	2.395,25	4,7	1.376,62	2,7	1.067,00	80,3	-1.018,63	-42,5
Tubuh Air	15,07	0,0	15,07	0,0	15,07	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Jumlah	51.006,58	100,0	51.006,58	100,0	51.006,58	100,0				

Tabel 7. Rata-rata simpanan karbon tersimpan di berbagai tipe penutupan lahan di TNBTS

No	Tipe Penutupan Lahan	Rata-rata Simpanan Karbon (tonC/ha)	Sumber data
1	Hutan Primer ¹	193,49 ± 125,98	Data primer
2	Hutan Sekunder ¹	267,42 ± 119,25	Data primer
3	Hutan Tanaman ¹	90,07 ± 54,38	Data primer
4	Pertanian ²	20,41	Data sekunder
5	Sawah ²	4,80	Data sekunder
6	Semak Belukar ²	39,23	Data sekunder
7	Semak Belukar Rawa ²	24,68	Data sekunder

Keterangan: ¹ Analisis data primer; ² Sularso *et al.* (2011)

Perubahan Simpanan Karbon Tersimpan di TNBTS

Simpanan karbon yang tersimpan di kawasan TNBTS mengalami perubahan secara lanskap dalam periode 1990, 2000 dan 2013. Hasil penelitian mengindikasikan bahwa terjadi penurunan simpanan karbon antara tahun 1990–2013. Fluktuasi simpanan karbon di dalam kawasan TNBTS disebabkan oleh tiga faktor yaitu aktivitas manusia yang tinggal di sekitar dan di dalam kawasan, bencana alam, dan pengelolaan taman nasional. Aktivitas manusia di sekitar dan di dalam kawasan TNBTS berpusat di serta di areal permukiman di dalam perkebunan. Bencana alam yang dimaksud adalah kebakaran yang terjadi di kawasan TNBTS akibat turunnya *frozz* dari puncak Semeru. Pengelolaan taman nasional yang dimaksud adalah kegiatan pemantauan, perlindungan, pemanfaatan dan rehabilitasi di dalam kawasan, serta penegakan hukum di dalam kawasan. Untuk menduga simpanan karbon tersimpan di TNBTS,

dilakukan analisis data perubahan tutupan lahan di TNBTS dengan simpanan rata-rata simpanan karbon tersimpan untuk masing-masing tipe penutupan lahan seperti pada Tabel 7.

Simpanan karbon di TNBTS mengalami perubahan secara lanskap dalam periode 1990, 2000 dan 2013. Pendugaan perubahan simpanan karbon dapat dikorelasikan dengan data perubahan tutupan lahan tiap periode waktu. Data ini menampilkan informasi apakah terjadi penurunan atau peningkatan simpanan karbon. Secara keseluruhan telah terjadi peningkatan simpanan karbon antara tahun 1990–2000 dan antara tahun 2000–2013.

Tabel 8 menyajikan bahwa sediaan karbon terbesar dari perubahan simpanan karbon (tonC/ha) di TNBTS tahun 1990 ke tahun 2000 adalah dari hutan. Terlihat bahwa kawasan TNBTS memiliki kawasan hutan tanaman yang cukup luas dan menjadi penyumbang simpanan karbon tersimpan yang cukup besar.

Matriks transisi perubahan simpanan karbon (tonC/ha) di TNBTS tahun 2000 ke tahun 2013 menunjukkan bahwa sediaan karbon terbesar adalah masih berasal dari hutan. Terlihat bahwa hutan primer

dan hutan sekunder mengalami peningkatan simpanan karbon di samping hutan tanaman yang cukup luas dan menjadi penyumbang simpanan karbon tersimpan yang cukup besar.

Tabel 8. Matriks transisi perubahan simpanan karbon (tonC/ha) di TNBTS tahun 1990 ke tahun 2000

Tutupan Lahan	Tahun 2000								Jumlah	% Perubahan
	Hutan Lahan Kering Primer	Hutan Lahan Kering Sekunder	Hutan Tana Man	Lahan Terbuka	Pertanian Lahan Kering	Semak Belukar	Tubuh Air	Tidak ada data		
Hutan Lahan Kering Primer	-	-	-	-11.448,62	-	-	-	-3.758,54	-15.207,17	6,7
Hutan Lahan Kering Sekunder	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hutan Tanaman	-	-	-	-183.896,98	-	-	-	-4.335,43	-188.232,42	83,3
Lahan Terbuka	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pertanian Lahan Kering	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Semak Belukar	-	-	-	-33.556,14	10.918,14	-	-	-	-22.638,00	10,0
Tubuh Air	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tidak ada data	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jumlah	-	-	-	-228.901,75	10.918,14	-	-	-8.093,98	-226.077,58	100,0
% perubahan	-	-	-	101,2	-4,8	-	-	3,6	100,0	

Tabel 8. Matriks transisi perubahan simpanan karbon (tonC/ha) di TNBTS tahun 2000 ke tahun 2013

Tutupan Lahan	Tahun 2013								Jumlah	% perubahan
	Hutan Lahan Kering Primer	Hutan Lahan Kering Sekunder	Hutan Tanaman	Lahan Terbuka	Pertanian Lahan Kering	Semak Belukar	Tubuh Air			
Hutan Lahan Kering Primer	-	-154.855,71	-	-6.641,56	-	-74.797,61	-	-236.294,88	-44,1	
Hutan Lahan Kering Sekunder	100.957,64	-	-	-185,58	-	-	-	100.772,06	18,8	
Hutan Tanaman	-	278.733,12	-	-17.729,70	-	-	-	261.003,42	48,7	
Lahan Terbuka	82.369,17	-	332.877,13	-	17.462,88	1.546,26	-	434.255,43	81,0	
Pertanian Lahan Kering	-	-	-	-31.239,49	-	-	-	-31.239,49	-5,8	
Semak Belukar	-	-	-	-	7.703,53	-	-	7.703,53	1,4	
Tubuh Air	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Jumlah	183.326,81	123.877,41	332.877,13	-55.796,33	25.166,41	-73.251,35	0	536.200,07	100,0	
% perubahan	34,2	23,1	62,1	-10,4	4,7	-13,7	0	100,0		

Perubahan simpanan karbon dalam skala lanskap berkorelasi terhadap perubahan penutupan lahan. Perubahan penutupan lahan dan simpanan karbon dalam skala lanskap diperoleh dari data atribut peta tipe penutupan lahan tahun 1990, 2000 dan 2013 yang

diintegrasikan dengan data hasil perhitungan simpanan karbon pada tiap-tiap penutupan lahan.

Perubahan penutupan lahan hutan menjadi non-hutan maupun lahan non-hutan menjadi hutan berguna untuk menjelaskan perubahan simpanan karbon hutan dan non-hutan. Perubahan penutupan lahan hutan

menjadi non-hutan disebut sebagai deforestasi, sedangkan perubahan penutupan lahan non-hutan menjadi hutan disebut sebagai reforestasi.

Areal hutan tanaman di TNBTS merupakan plot rehabilitasi campuran hutan alam dan hutan tanaman kerjasama TNBTS dengan Toyota Boshoku/JIFPRO di Blok Argowulan dengan jenis tanaman alaminya adalah *Acacia decurens* dan Metigi, sedangkan jenis tanaman yang ditanam adalah *Acacia decurens* dan Cemara gunung.

Peningkatan simpanan karbon pada hutan sekunder dari tahun 2000 hingga 2013 disebabkan oleh meningkatnya luasan hutan sekunder serta dipengaruhi oleh peningkatan kegiatan pemantauan dan perlindungan kawasan serta penegakan hukum, khususnya pada kawasan hutan primer dan hutan sekunder yang berdekatan dengan pemukiman warga maupun yang berada dalam zona inti.

SIMPULAN

Simpanan karbon hutan primer di TNBTS memiliki kisaran sebesar 81,3–451,6 tonC/ha, di hutan sekunder sebesar 85,0–416,0 tonC/ha dan di hutan tanaman sebesar 38,0–146,5 tonC/ha. Pada penelitian ini, hutan sekunder memiliki nilai biomassa dan simpanan karbon tersimpan tertinggi, tetapi dalam skala lanskap hutan primer memiliki simpanan karbon tertinggi karena memiliki luasan yang paling besar.

Tipe penutupan lahan hutan primer mengalami penurunan luas, sedangkan hutan sekunder, hutan tanaman dan pertanian mengalami peningkatan luas yang sangat signifikan. Perubahan penutupan lahan berkorelasi dengan perubahan simpanan karbon tersimpan dalam skala lanskap.

Total simpanan karbon tersimpan di TNBTS pada periode 1990–2000 mengalami penurunan sebesar 22,6 tonC/ha/tahun dan pada periode 2000–2013 mengalami peningkatan sebesar 41,2 tonC/ha/tahun. Peningkatan simpanan karbon disebabkan oleh perlindungan dan pemantauan kawasan hutan secara intensif dan rehabilitasi lahan yang dihasilkan dari kerjasama antara pengelola TNBTS dengan melibatkan masyarakat dan organisasi kehutanan internasional.

Saran

Untuk meningkatkan keakuratan pendugaan potensi biomassa dan simpanan karbon di seluruh kawasan TNBTS perlu dilakukan stratifikasi lapangan yang lebih detil dan melakukan sampling untuk seluruh tipe tutupan lahan yang ada di TNBTS dan perlu dibangun persamaan alometrik biomassa yang khusus untuk TNBTS dengan metode non-destruktif.

Kegiatan yang mengikutsertakan masyarakat perlu dioptimalkan dengan memberi penyuluhan mengenai pelaksanaan kegiatan demonstrasi REDD-plus dan

pengikutsertaan masyarakat dalam pemantauan berkala (tahunan).

DAFTAR PUSTAKA

- Anaya J, Chuvieco E, Palacios-Orueta A. 2009. Aboveground biomass assessment in Colombia: A remote sensing approach. *Forest Ecology and Management*. 257:1237–1246.
- Badan Litbang Kementerian Kehutanan. 2011. Cadangan karbon pada berbagai tipe hutan dan jenis tanaman di Indonesia. Badan Litbang Kementerian Kehutanan. Jakarta.
- Brown S. 2002. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environ.Pollut.* 116:363–372.
- Chapin III FS, Matson PA, Mooney HA. 2002. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. New York: Springer.
- Chave J, Andalo EC, Brown ES, Cairns MA, Chambers JQ, Eamus ED, Folster EH, Fromard EF, Higuchi N, Kira ET, Lescure EJP, Nelson EBP, Ogawa H, Puig EH, Riera EB, Yamakura ET. 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. Springer-Verlag.
- GOFC-GOLD. 2009. Reducing greenhouse gas emissions from deforestation and 46 degradation in developing countries: a sourcebook of methods and procedures 47 for monitoring, measuring and reporting. GOFC-GOLD Report version COP14-2. 48 (GOFC-GOLD Project Office, Natural Resources Canada, Alberta, Canada).
- Houghton RA. 2007. Balancing the global carbon budget. *Annu.Rev.Earth Planet.Sci.* 35:313–347.
- IPCC. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Japan.
- Jaya INS. 2011. *Analisis citra digital*. Bogor (ID): Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor.
- Jenkins JC, Chojnacky DC, Heath LS, Birdsey RA. 2003. National-scale biomass estimators for United States tree species. *Forest Sci.* 49(1):12–35.
- Keller M, Palace M, Hurtt G. 2001. Biomass estimation in the Tapajos National Forest, Brazil: examination of sampling and allometric uncertainties. *Forest Ecology and Management*. 154:371–382.
- Ketterings QM, Coe R, van Noordwijk M, Ambagau Y dan Palm C. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting

- above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management*. 146: 199-209.
- Labrecque S, Fournier RA, Luther JE, Piercey D. 2006. A comparison of four methods to map biomass from Landsat-TM and inventory data in western Newfoundland. *Forest Ecology and Management*. 226:129–144.
- Parresol BR. 1999. Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. *For. Sci.* 45(4):573–593.
- Siregar CA dan Dharmawan IWS. 2009. Sintesa hasil-hasil penelitian jasa hutan sebagai penyerap karbon. [laporan hasil penelitian]. Bogor (ID): Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan dan Konservasi Alam.
- SNI 7724:2011. Pengukuran dan penghitungan cadangan karbon – Pengukuran lapangan untuk penaksiran cadangan karbon hutan (ground based forest carbon accounting). Jakarta (ID): Badan Standardisasi Nasional.
- Sularso GNM, Hermawan R, Prasetyo LB. 2011. Pendugaan perubahan cadangan karbon di Taman Nasional Meru Betiri. [Prosiding]. Semiloka Nasional: Implementasi RAN-GRK untuk bidang berbasis lahan. Bogor (ID): Departemen Konservasi Sumberdaya Hutan dan Ekowisata. IPB.
- Xie Y, Sha Z, Yu M, Bai Y, Zhang L. 2009. A comparison of two models with Landsat data for estimating above ground grassland biomass in Inner Mongolia, China. *Ecological Modelling*. 220:1810–18182.