CADANGAN KARBON HUTAN LINDUNG LONG KETROK DI KABUPATEN MALINAU, KALIMANTAN TIMUR UNTUK MENDUKUNG MEKANISME REDD+ (*Carbon Stocks of Protection Forest in Malinau District, East Kalimantan to Support REDD+ Mechanism*)

Yonky Indrajaya¹

¹Balai Penelitian Teknologi Agroforestry

Jl. Raya Ciamis-Banjar km 4, Ciamis 46201, email: yonky_indrajaya@yahoo.com

Diterima 22 Januari 2013, direvisi 25 April 2013, disetujui 2 Mei 2013

ABSTRACT

Conservation on protection forests through REDD+ mechanism is one of the potential activities that can reduce global emission. Preserving protection forest from deforestation and forest degradation can prevent forests to emit carbon dioxide. Information on carbon stocks in virgin forest is important for baseline and to know its potential sequestration. This paper aims to discern the potency of carbon stocks in biomass of Long Ketrok protection forest managed by Setulang community, located in Malinau East Kalimantan. The method used in this research is non-destructive using allometric equations developed in tropical forests. Result of this study showed that carbon stored in biomass of Long Ketrok protection forest is 304 ton/ha, consisting of C stored in aboveground biomass (255 ton/ha), root biomass (42 ton/ha), and necromass (7 ton/ha). The proportion of stem, branch, root, and leaf carbon biomass are: 70.7%, 14.6%, 14.1% and 0.6% respectively.

Keywords: Biomass, carbon, protection forest

ABSTRAK

Kegiatan konservasi hutan lindung (HL) melalui mekanisme REDD+ merupakan salah satu kegiatan yang sangat potensial untuk dapat menurunkan emisi global. Menjaga HL dari kegiatan deforestasi dan degradasi hutan dapat mencegah hutan untuk mengemis karbon dioksida. Informasi tentang jumlah cadangan karbon hutan lindung yang belum terganggu (hutan perawan) penting sebagai base line dan untuk mengetahui potensi penyerapannya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi cadangan karbon yang tersimpan dalam biomassa tegakan hutan lindung Long Ketrok, yaitu hutan lindung yang dikelola oleh masyarakat desa Setulang, Kabupaten Malinau, Provinsi Kalimantan Timur. Metode perhitungan cadangan karbon yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *non-destructive* dengan menggunakan persamaan allometrik yang telah dibangun di hutan tropis. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa jumlah karbon tersimpan dalam hutan lindung Long Ketrok adalah 304 ton/ha yang terdiri dari karbon tersimpan dalam biomassa di atas permukaan tanah sebesar 255 ton/ha, biomassa akar sebesar 42 ton/ha, dan nekromassa sebesar 7 ton/ha. Proporsi batang, cabang, akar, dan daun dalam biomassa karbon berturut-turut sebesar 70,7%, 14,6%, 14,1% dan 0,6%.

Kata kunci: Biomassa, karbon, hutan lindung

I. PENDAHULUAN

Pemanasan global telah terjadi yang diindikasikan oleh peningkatan suhu udara rata-rata selama 30 tahun terakhir (IPCC, 2007). Pemanasan global menyebabkan terjadinya perubahan iklim, antara lain dengan meningkatnya frekuensi maupun intensitas terjadinya cuaca ekstrim seperti badai tropis, El-Nino La-Nia, perubahan pola hujan, perubahan pola angin, perubahan salinitas air laut dan lain-lain. Selain itu, perubahan iklim dapat pula

berdampak pada perubahan masa reproduksi hewan dan tanaman, distribusi spesies dan ukuran populasi, frekuensi serangan hama dan penyakit, serta berbagai perubahan pada ekosistem di daerah lintang yang tinggi dan ekosistem pantai (IPCC, 2007).

Pemanasan global dipicu oleh peningkatan konsentrasi gas rumah kaca (GRK) seperti CO₂, NO_x, SO_x, dll yang bersumber dari proses alami dan kegiatan manusia. Kontribusi kegiatan manusia dalam peningkatan emisi global telah

menjadi perhatian dunia dan telah dibicarakan dalam pertemuan-pertemuan internasional. Negara-negara di dunia telah berkomitmen untuk mengurangi konsentrasi GRK di atmosfer yang dituangkan dalam kesepakatan dalam konferensi para pihak (*CoP/Conference of Parties*) seperti misalnya Protokol Kyoto.

Tingkat emisi Indonesia menurut data tahun 2000 berada pada peringkat 15 dunia apabila tidak memperhitungkan emisi akibat perubahan penggunaan lahan dan kehutanan/*Land Use, Land Use Change and Forestry* (LULUCF), dengan tingkat emisi sebesar 503 Mt CO₂ (Baumert *et al.*, 2005). Apabila emisi dari kegiatan perubahan penggunaan lahan dan kehutanan dimasukkan dalam perhitungan, maka Indonesia berada pada peringkat ke-3 dunia dengan emisi dari sektor LULUCF sebesar > 2.500 Mt CO₂ (Baumert *et al.*, 2005). Oleh karena itu, Indonesia telah berkomitmen untuk mengurangi laju emisinya sebesar 26% secara sukarela dan sebesar 41% dengan bantuan asing hingga tahun 2020 (Perpres 61/2011) dengan sektor kehutanan sebagai kontributor tertinggi dalam penurunan tersebut.

Laju pengurangan emisi dari penurunan tingkat deforestasi dan degradasi hutan dikenal dengan REDD (*Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation*) yang pertama kali diperkenalkan pada CoP ke 13 di Bali pada tahun 2007. Pada tahun 2010, pada CoP ke 16 di Cancun, kegiatan lain yang diakui sebagai langkah pengurangan emisi sektor kehutanan adalah peningkatan karbon stok hutan, konservasi hutan, dan pengelolaan hutan lestari. Tambahan kegiatan ini memberikan tambahan tanda ”+” pada REDD menjadi REDD+. Komitmen Indonesia dalam mengurangi emisi telah tertuang dalam Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN GRK) melalui Perpres No 61 Tahun 2011. Sektor kehutanan akan berkontribusi dalam penurunan emisi GRK sebesar 0,672 Giga ton (skenario 26%) atau 1,039 Giga ton (skenario 41%).

Hutan lindung yang merupakan kawasan hutan yang memiliki sifat khas yang mampu memberikan perlindungan kepada kawasan sekitar maupun bawahannya sebagai pengatur tata air, pencegah banjir dan erosi serta memelihara kesuburan tanah (Kepres 32/1990) juga mendapatkan perhatian dalam RAN GRK, di mana deforestasi dan degradasi hutan juga terjadi di kawasan hutan

lindung (Harris *et al.*, 2008). Oleh karenanya, menjaga hutan lindung dari perambahan dan degradasi berperan dalam mengurangi emisi karbon (HL bebas emisi). Rencana aksi yang terkait dengan hutan lindung adalah pengembangan pemanfaatan jasa lingkungan dan pengembangan kawasan konservasi, ekosistem esensial dan pembinaan hutan lindung (Perpres 61/2011). Target penurunan emisi dari pengurangan perambahan hutan konservasi dan hutan lindung di 12 propinsi prioritas termasuk Kaltim dalam kurun waktu 5 (lima) tahun (2010 - 2014) adalah sebesar 49,77 juta ton.

Penelitian yang dilakukan oleh Harris *et al.* (2008) menyebutkan bahwa laju deforestasi di Kalimantan Timur di kawasan yang dilindungi adalah 230.720 ha dengan potensi emisi sebesar 305 juta ton CO₂ dari tahun 2003 hingga 2013 dengan asumsi laju deforestasi tetap sama tanpa ada tindakan pengurangan. Tingkat emisi yang terjadi per tahun rata-rata adalah sebesar 30 juta ton CO₂. Apabila dibandingkan dengan target penurunan emisi yang kurang lebih sebesar 50 juta ton CO₂, provinsi Kaltim memiliki kontribusi yang cukup besar dalam target penurunan emisi ini.

Untuk mengetahui tingkat emisi GRK dari perubahan penggunaan lahan yang terjadi diperlukan informasi tentang faktor emisi (yaitu nilai rata-rata emisi karbondioksida/CO₂ yang terjadi akibat perubahan penggunaan lahan) dan data aktivitas (luas perubahan yang terjadi). Tulisan ini bertujuan untuk mengetahui potensi cadangan karbon yang tersimpan dalam biomassa tegakan hutan lindung Long Ketrok di Kalimantan Timur untuk mengisi gap informasi terkait dengan faktor emisi GRK dari sektor kehutanan, terutama hutan lindung. Hutan Lindung Long Ketrok merupakan salah satu hutan lindung yang sebagian wilayahnya dikelola oleh masyarakat adat Desa Setulang, yang hingga saat ini berupaya untuk memperoleh manfaat hutannya dari jasa lingkungan (Wunder *et al.*, 2008).

II. METODE PENELITIAN

A. Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Iklim di lokasi penelitian termasuk dalam tipe A menurut klasifikasi Schmidt and Ferguson (1951), dengan bulan basah lebih dari 9 (sembilan) bulan

yang terjadi antara bulan April - Desember, dan bulan kering selama kurang dari 2 (dua) bulan (Samsuedin *et al.*, 2009). Rata-rata curah hujan adalah sebesar 3.828 mm/ tahun dengan suhu tertinggi sebesar 34° C dan terendah sebesar 23,5° C, dengan kelembaban udara berkisar antara 75-98% (Samsuedin *et al.*, 2009).

Formasi geologi di lokasi penelitian termasuk dalam formasi batuan pegunungan, *metamorphic* dan sediment (Machfudh, 2002). Jenis tanah di lokasi penelitian termasuk dalam alluvial gleik, gleisol eutrik dan podsolik ortoksik (Machfudh, 2002). Ketinggian tempat di lokasi penelitian berkisar antara 150-500 m dpl. (Sidiyasa *et al.*, 2006).

B. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di hutan lindung (HL) Long Ketrok, yang sebagian wilayahnya merupakan hutan adat Desa Setulang, Kabupaten Malinau, Provinsi Kalimantan Timur. Di hutan lindung Long Ketrok yang juga merupakan wilayah Hutan Desa Setulang, masih terdapat pohon-pohon yang berukuran sangat besar (diameter > 200 cm). Masyarakat Desa Setulang beranggapan bahwa menjaga hutan akan memberikan dampak yang menguntungkan bagi masyarakat yaitu dapat mencegah banjir, menjaga kualitas air dan menjaga kesuburan tanah desa karena posisi desa yang berada di hilir sungai dan hutan adat berada di hulu

Gambar 1. Lokasi hutan lindung Long Ketrok, Kab. Malinau, Prov. Kalimantan Timur

Figure 1. Long Ketrok Protection Forest, Malinau, East Kalimantan

(Sidiyasa *et al.*, 2006). Kepedulian masyarakat yang amat tinggi terhadap lingkungan telah menarik perhatian para peneliti baik di Indonesia maupun dari luar negeri untuk meneliti hubungan masyarakat dengan hutan.

Pengumpulan data dilakukan pada bulan November - Desember 2010. Lokasi HL Long Ketrok disajikan dalam Gambar 1.

C. Pengumpulan data

Data dikumpulkan dari petak ukur berukuran 20 x 20 meter sebanyak 114 buah atau kurang lebih 4,56 ha. Penentuan lokasi sampel dilakukan berdasarkan informasi awal dari nilai indeks vegetasi (NDVI) yang telah dilakukan sebelumnya. Titik sampel yang telah ditentukan kemudian diklarifikasi dengan penduduk Desa Setulang di mana lokasi hutan yang tidak terganggu oleh masyarakat. Jumlah plot yang dibuat adalah sebanyak 114 buah. Semua pohon dengan ukuran diameter ≥ 10 cm diukur kelilingnya dan diidentifikasi jenisnya. Pohon dengan diameter kurang dari 10 cm tidak dihitung dalam penelitian ini. Selain itu, nekromassa atau biomassa mati seperti pohon yang rebah dan pohon yang mati berdiri juga diukur keliling dan panjangnya. Dalam penelitian ini tidak tidak dihitung karbon yang tersimpan di dalam seresah dan tanah.

D. Metode Pengukuran Kandungan Karbon Biomassa

Lokasi penelitian ini berada di tanah mineral. Cadangan karbon tanah mineral relatif tetap (IPCC, 2006), maka perhitungan cadangan karbon hutan hanya dilakukan pada biomassa di atas tanah (*Above Ground Biomass/AGB*) dan biomassa di bawah permukaan tanah (*Below Ground Biomass*). Estimasi biomassa pohon banyak dilakukan dengan persamaan allometrik, yaitu menduga berat seluruh pohon berdasarkan salah satu ukuran dimensi pohon (misalnya diameter pohon). Beberapa persamaan allometrik telah dikembangkan dan digunakan dalam menghitung biomassa pohon dalam tegakan hutan alam Dipterokarpa (Yamakura *et al.*, 1986; Brown, 1997; Chave *et al.*, 2005; Basuki *et al.*, 2009).

Perhitungan biomassa pohon di atas tanah (*AGB*) dalam penelitian ini dilakukan dengan mengikuti persamaan yang dibuat oleh Yamakura *et*

al. (1986) yang telah melakukan penelitian di hutan tropis Kalimantan Timur. Pendekatan yang diambil dalam menghitung biomassa pohon di atas permukaan tanah adalah dengan membagi pohon ke dalam beberapa fraksi, yaitu: batang, cabang, dan daun. Tinggi pohon diestimasi dari hubungan antara diameter pohon D (dalam centimeter) dengan tinggi H (dalam meter) mengikuti persamaan yang dibuat oleh Ogawa dan Kira (1977) dalam Yamakura *et al.* (1986), yaitu:

$$1/H = 1/(1,757D) + 1/88,43 \quad (1)$$

Di mana D 4,5 cm. Tinggi hasil estimasi dari persamaan (1) dan nilai pengukuran diameter pohon selanjutnya dipergunakan untuk mengestimasi berat kering batang w_s (dalam kilogram) dengan persamaan:

$$w_s = 2,903 \times 10^{-2} (D^2 H)^{0,9813} \quad (2)$$

Selanjutnya, berat kering batang w_s hasil estimasi dari persamaan (2) dipergunakan untuk mengestimasi berat kering cabang w_B (dalam kilogram) dengan persamaan:

$$w_B = 0,1192 w_s^{1,059} \quad (3)$$

Berat kering batang dan cabang hasil estimasi dari persamaan (2) dan (3) dipergunakan secara bersama-sama dalam mengestimasi berat kering daun w_L (dalam kilogram) mengikuti persamaan:

$$w_L = 9,146 \times 10^{-2} (w_s + w_B)^{0,7266} \quad (4)$$

Sebagai pembanding, persamaan allometrik dalam persamaan 5 yang dibuat oleh Chave *et al.* (2005) dan persamaan 6 yang dibuat oleh Brown (1997) juga digunakan:

$$AGB = \rho \times \exp(-1,499 + 2,148 \ln(D) + 0,207(\ln(D))^2 - 0,0281(\ln(D))^3) \quad (5)$$

$$AGB = \exp\{-2,134 + 2,53 \ln(D)\} \quad (6)$$

Karena perhitungan biomassa akar sulit dilakukan, maka biomassa akar diestimasi mengikuti persamaan yang dibuat oleh Cairns *et al.* (1997), yaitu:

$$RDB = \exp(-1,0587 + 0,8836 \times \ln TAGB) \quad (7)$$

Setelah mengetahui berat kering tiap fraksi pohon, cadangan karbon dalam biomassa diasumsikan sebanyak 0,5 dari total berat kering tiap fraksi.

$$TotalC = 0,5TAGB \quad (8)$$

Nekromass (biomassa mati) dihitung dengan menggunakan persamaan dari Hairiah *et al.* (2011), yaitu:

$$N = \pi D^2 H \rho / 40 \quad (9)$$

Dimana N merupakan berat kering nekromass (dalam kg), D adalah diameter, H adalah panjang nekromass, dan ρ adalah berat jenis (rata-rata berat jenis pada penelitian ini adalah $0,68 \text{ g/cm}^3$).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Struktur Tegakan dan Komposisi Jenis hutan lindung Long Ketrok

Berdasarkan pengukuran pada 114 petak ukur, struktur tegakan HL Long Ketrok mengikuti bentuk J terbalik yaitu jumlah individu pohon pada kelas diameter terkecil adalah terbanyak dan semakin berkurang dengan bertambahnya kelas diameter pohon. Struktur seperti ini menunjukkan hutan dalam keadaan normal, seperti disajikan dalam Gambar 2.

Komposisi jenis tegakan di hutan Malinau telah dilaporkan oleh beberapa peneliti seperti misalnya Sidiyasa *et al.* (2006) dan Sheil *et al.* (2010). Penelitian ini mengikuti jalur yang telah dibuat oleh CIFOR dan komposisi jenis di HL Long Ketrok telah dilaporkan oleh Sidiyasa *et al.* (2006). Beberapa jenis pohon yang ada di HL Long Ketrok antara lain: Meranti Merah (*Shorea* sp.), Meranti Putih

(*Shorea* sp.), Majau (*Shorea johorensis*), Ulin (*Eusideroxylon zwageri*), Tengkwang (terutama *Shorea macrophylla* dan *S. beccariana*), Kajen Ase (*Medhuca spectabilis*), Keruing (*Dipterocarpus* sp.), Darah-darah (*Myristica* sp.), Kapur (*Dyobalanops aromatica*), dan Meranti Kuning (*Shorea* sp.). Jenis Meranti Merah dan Meranti Putih mendominasi komposisi tegakan di HL Long Ketrok dengan INP berturut-turut sebesar 20,47% dan 20,45% (Sidiyasa *et al.*, 2006).

Penelitian lain di hutan alam di Malinau menyebutkan bahwa suku Dipterocarpaceae mendominasi baik pada jumlah pohon maupun kerapatan bidang dasarnya. Beberapa jenis pohon dari suku Dipterocarpaceae diantaranya adalah *Anisoptera grossivenia*, *Dipterocarpus lowii*, *D. stellatus*, *Shorea* spp. (*S. agami*, *S. atrinervosa*, *S. brunnescens*, *S. excelliptica*, *S. macroptera*, *S. maxwelliana*, *S. ochracea*, *S. parvifolia*, *S. pauciflora*, *S. pinanga*, *S. rubra*, *S. venulosa*), dan *Vatica* spp. (*V. albiramis*, *V. granulata*, *V. Umbonata*) berkontribusi terhadap lebih dari 50% kerapatan bidang dasar total (Sheil *et al.*, 2010). Sementara itu, penelitian yang dilakukan di hutan alam di Berau juga menemukan bahwa kontribusi suku Dipterocarpaceae terhadap kerapatan bidang dasar total adalah sebesar 48% (Sist and Saridan, 1999).

Beberapa jenis tumbuhan yang dilindungi dan banyak digunakan oleh masyarakat Desa Setulang adalah *Licuala valida* atau daun sang yang banyak digunakan untuk membuat anyaman topi, tikar,

Gambar 2. Struktur tegakan hutan lindung Long Ketrok

Figure 2. Stand structure of Long Ketrok protection forest

dsb.; *Alocasia* sp. atau talas hutan yang banyak digunakan untuk sayur, pohon buah-buahan, tumbuhan obat, dan lain-lain (Sidiyasa *et al.*, 2006). Ares (*Duabanga moluccana*), salah satu tumbuhan yang dilindungi menurut SK Menteri Pertanian No. 54/Kpts/Um/2/1972 juga banyak ditemukan di tempat terbuka. Pohon tengkawang yang dulu pernah menjadi primadona karena memberikan keuntungan ekonomi yang tinggi banyak juga terdapat di Hutan Desa Setulang.

Beberapa jenis tumbuhan yang dilindungi di Hutan Desa Setulang adalah: *Eusideroxylon zwageri* (Ulin), *Shorea macrophylla* (Tengkawang), *Shorea pinanga* (Tengkawang Rambai), *Shorea beccariana* (Tengkawang Tengkal/Tengkawang Burung), *Shorea seminis* (Tengkawang Terendak), *Dyera costulata* (Jelutung), *Palaquium gutta* (Ketipai), *Koompassia excelsa* (Banggeris), *Pangium edule* (Pangi/Kepayang), *Aquilaria beccariana* (Gaharu), *Korthalsia echnometra* (Rotan Merah), *Calamus caesi* (Rotan Segi), *Calamus javanensis* (Rotan Lilin), *Calamus pogonocanthus* (Rotan Semule), *Daemonorops sabut* (Rotan Gelang) (Sidiyasa *et al.*, 2006).

B. Karbon Tersimpan dalam Biomassa

Hasil dari perhitungan cadangan karbon disajikan dalam Tabel 1. Pohon dengan diameter besar (> 60 cm) hanya berjumlah 24 batang/ha (Gambar 2) namun berkontribusi lebih kurang 67% dalam menyimpan karbon dalam biomassa di atas permukaan tanah yaitu sebanyak 171 ton C/ha (Gambar 3). Sementara itu, pohon berdiameter

kecil (< 60 cm) yang berjumlah 480 batang/ha, hanya berkontribusi sebesar 33% dalam penyimpanan karbon dalam biomassa di atas permukaan tanah, yaitu sebesar 84 ton C/ha (Gambar 3).

Apabila terjadi perambahan hutan, dimana pohon dengan kelas diameter > 60 cm dipanen, dan diasumsikan 50% dari pohon yang berada di kelas diameter ini adalah jenis komersial (Bertault and Sist, 1997), dan tingkat kerusakan yang terjadi akibat kegiatan pembalakan liar adalah 50%¹ (Sist *et al.*, 2003), maka potensi cadangan karbon yang akan hilang adalah sebesar kurang lebih 149 ton C/ha pada saat terjadi perambahan. Potensi kehilangan ini berasal dari pohon ditebang sebanyak 12 pohon DBH > 60 cm (85 ton/ha), dan pohon yang mati (64 ton/ha)².

Penelitian ini menggunakan beberapa persamaan allometrik biomassa untuk bisa dibandingkan dengan penelitian lain yang menggunakan metode yang sama. Penelitian ini tidak bisa memberikan justifikasi atas persamaan allometrik yang memberikan hasil estimasi paling mendekati kenyataan karena tidak dilakukannya pengukuran biomassa secara langsung di lapangan (penerapan metode *non-destructive sampling*).

¹ Pembalakan yang dilakukan diasumsikan mengikuti teknik konvensional dimana kerusakan tegakan tinggal (yaitu pohon terluka dan mati) akibat kegiatan ini adalah kurang lebih 50% dari kondisi tegakan awal.

² Sist *et al.* (2003) menyebutkan bahwa dari kerusakan tegakan tinggal, proporsi pohon yang mati dan terluka masing-masing adalah sebesar 50%. Dalam penelitian ini, total karbon tersimpan dalam biomassa di atas permukaan tanah adalah sebesar 255 ton C/ha, sehingga total karbon tersimpan dalam biomassa pohon mati adalah sebesar 50% x 255 = 64 ton C/ha.

Gambar 3. Karbon tersimpan dalam biomassa pohon beberapa kelas diameter

Figure 3. Carbon stored in tree biomass in several diameter classes

Tabel 1. Karbon tersimpan dalam biomassa di atas permukaan tanah HL Long Ketrok
Table 1. Carbon stored in above ground biomass of Long Ketrok Protection Forest

(allometric equation)		Kelas diameter (Diameter class)										Total (Total)
		10 - 20 cm	21-30cm	31-40cm	41-50cm	51-60cm	61-70cm	71-80cm	81-90cm	91-100cm	≥ 101cm	
Persamaan allometrik	N/ha	367	69	27	13	11	5	4	4	4	7	
	D rata-rata	23	25	35	45	55	66	76	87	95	125	
	TAGB (kg/phn)	144	485	1160	2234	3563	5641	7890	10791	13385	24540	
	TAGB (ton/ha)	30	34	31	30	41	31	31	38	50	183	
Chave	Karbon (ton/ha)											
		14	16	15	14	19	15	15	18	23	86	234
	TAGB (kg/phn)	129	404	949	1830	2946	4754	6789	9527	12075	23995	
	TAGB (ton/ha)	27	28	26	24	34	26	27	33	45	179	
Brown	Karbon (ton/ha)											
		13	13	12	12	16	12	13	16	21	84	211
	Tinggi rata-rata	33	29	36	42	46	50	53	56	58	63	
	Batang (kg/phn)	126	440	1050	2014	3199	5045	7045	9636	11965	22170	
Yamakura	Cabang (kg/phn)	19	75	189	376	614	995	1416	1973	2482	4769	
	Daun (kg/phn)	4	9	16	26	37	51	65	82	96	151	
	TAGB (kg/phn)	150	523	1255	2416	3849	6091	8527	11691	14544	27090	
	Karbon (ton/ha)											255

Sumber (source): data primer (primary data)

Tabel 2. Nekromassa di HL Long Ketrok
 Table 2. *Necromass in Long Ketrok Protection Forest*

Jumlah batang per ha (<i>Number of stems</i>) (N/ha)	Keliling rata-rata (<i>Average girth</i>) (cm)	Diameter rata-rata (<i>Average Diameter</i>) (cm)	Panjang rata-rata (<i>Average length</i>) (m)	Karbon rata-rata per ha (<i>Average carbon stored in necromass per ha</i>)(ton/ha)
14	100	32	15	7

Sumber (*source*): data primer (*primary data*)

Tabel 3 . Karbon tersimpan dalam biomassa HL Long Ketrok
 Table 3. *Carbon stored in biomass of Long Ketrok Protection Forest*

Persamaan Allometrik (<i>Allometric Equation</i>)	Karbon atas tanah (<i>Carbon in AGB</i>) / ton ha ⁻¹	Karbon Akar (<i>Carbon in RB</i>) / ton ha ⁻¹	Karbon dalam Nekromassa (<i>Necromass</i>) / ton ha ⁻¹	Total Karbon dalam biomassa (<i>Total carbon stored in biomass</i>) / ton ha ⁻¹
	AGB	RB	Nec	Tot = AGB+RB+Nec
Chave	234	39	7	280
Brown	211	36	7	254
Yamakura	255	42	7	304

Gambar 4. Proporsi karbon tersimpan dalam biomassa HL Long Ketrok
 Figure 4. *Proportion of carbon stored in biomass of Long Ketrok protection forest*

Tabel 2 menunjukkan karbon tersimpan dalam nekromassa di lokasi penelitian yang terdiri dari 63 batang dalam plot yang diamati (atau 14 batang/ha) dengan diameter antara 8 - 137 cm dan panjang antara 6 - 32 meter. Total karbon dalam nekromassa per ha berdasarkan persamaan (9) adalah 7 ton/ha.

Tabel 3 metode Yamakura *et al.* (1986) menunjukkan karbon tersimpan dalam biomassa hutan lindung Long Ketrok cukup tinggi yaitu 304 ton/ha. Proporsi karbon tersimpan dalam biomassa hutan tertinggi berada pada biomassa di atas tanah dengan karbon tersimpan hingga 255 ton/ha. Sementara itu, estimasi karbon tersimpan dalam biomassa di bawah permukaan tanah (akar)

adalah sebesar 42 ton/ha. Walaupun tidak ada kegiatan oleh manusia di dalam hutan, secara alami pohon seperti halnya makhluk hidup lain akan mati karena usia maupun karena faktor alam seperti terkena penyakit atau petir. Karbon tersimpan dalam nekromassa hutan lindung Long Ketrok adalah sebesar 7 ton/ha, yang sebagian besar berupa pohon yang secara alami mati dan tumbang. Karbon tersimpan dalam nekromassa yang ada di dalam HL Long Ketrok ini relatif kecil karena tidak adanya kegiatan penebangan oleh manusia. Karbon tersimpan dalam nekromassa pada hutan bekas tebangan cukup tinggi, yaitu lebih dari 50 ton/ha (Indrajaya, 2012).

Penelitian perhitungan cadangan karbon di hutan alam tak terganggu telah pula dilakukan di beberapa tempat di Kalimantan Timur, antara lain: di hutan wilayah PT Inhutani II, pada hutan primer sebelum penebangan, jumlah karbon yang tersimpan dalam biomassa adalah sebesar 264 ton/ha (Samsoedin *et al.*, 2009). Penelitian lain di Kabupaten Nunukan yang dilakukan oleh ICRAF, menunjukkan bahwa karbon tersimpan dalam biomassa tegakan hutan alam adalah sebesar 230 ton/ha (Rahayu *et al.*, 2006). Kedua penelitian ini hanya memperhitungkan karbon tersimpan dalam biomassa di atas permukaan tanah, dan keduanya menggunakan persamaan Chave *et al.* (2005). Apabila dibandingkan dengan penelitian ini dengan persamaan Chave *et al.* (2005), karbon tersimpan di atas permukaan tanah adalah sebesar 234 ton/ha.

Dari karbon yang ada di dalam biomassa, fraksi pohon yang memiliki cadangan karbon tertinggi adalah berurutan adalah batang, cabang, akar, dan daun dengan persentase sebesar 70,7%, 14,56%, 14,14% dan 0,61 % (Gambar 4).

C. Upaya Pemanfaatan HL Bebas Emisi

Pada dasarnya hutan akan memberikan manfaat lingkungan (perlindungan DAS, konservasi keanekaragaman hayati, dan penyimpanan karbon) yang dapat dinikmati oleh para penerima manfaat apabila dalam kondisi tidak terganggu. Pihak penerima manfaat lingkungan perlindungan DAS adalah masyarakat yang tinggal di hilir sungai di mana hutan di hulu sungai berada (Pagiola *et al.*, 2002). Kualitas, kuantitas dan kontinuitas aliran air sungai di hulu dipengaruhi oleh kondisi hutan di hulu DAS. Sementara itu, penerima manfaat lingkungan HL sebagai penyimpan karbon dan konservasi keanekaragaman hayati adalah komunitas internasional (Pagiola *et al.*, 2002).

Dalam konteks HL yang berperan sebagai penyimpan karbon, beberapa upaya perlindungan untuk menghindari deforestasi dan degradasi hutan yang dapat dilakukan antara lain:

Kontrol terhadap hama dan penyakit berkoordinasi dengan lembaga penelitian seperti Balitbang Kehutanan dan Dinas Kehutanan Kabupaten Malinau

Perlindungan terhadap para penjarah hutan terutama pelaku illegal logging dengan patroli keamanan rutin oleh petugas pengamanan didukung oleh partisipasi masyarakat

Meminimalisir kegiatan tebang dan bakar pada perladangan berpindah yang dilakukan oleh masyarakat

Memberikan kompensasi yang cukup apabila ternyata di dalam kawasan HL terdapat potensi cadangan mineral yang bernilai tinggi.

Upaya-upaya yang dilakukan yang bertujuan untuk meminimalisir emisi dari hutan lindung dapat berjalan beriringan dengan kegiatan yang bertujuan untuk perlindungan terhadap keanekaragaman hayati. Untuk membiayai kegiatan perlindungan HL di atas, diperlukan insentif dari pihak penerima keuntungan (*beneficiary parties*) antara lain melalui mekanisme *Payment for Environmental Services (PES)*. Inisiatif imbal jasa lingkungan (PES) yang telah dilakukan oleh masyarakat Desa Setulang adalah dengan menjual jasa lingkungan keanekaragaman hayati. Namun, inisiatif ini menemui kendala antar lain: keterbatasan waktu yang dimiliki oleh donor dan sulitnya memenuhi prinsip *conditionality* (Wunder *et al.*, 2008). PES REDD memiliki keunggulan dalam hal jelasnya tujuan yang ingin dicapai yaitu penurunan emisi dengan cara mengurangi laju deforestasi dan degradasi hutan yang dapat diukur dengan metode yang jelas (Blom *et al.*, 2010). Dengan semakin baiknya kondisi hutan dan menurunnya laju deforestasi, jasa lingkungan lain seperti perlindungan keanekaragaman hayati pun dapat diperoleh.

Upaya untuk menjual jasa lingkungan karbon pun telah dilakukan awalnya dengan bekerja sama dengan sektor swasta dan telah dipresentasikan di Bali dalam *Conference of Parties* ke 13. Namun demikian, upaya ini pun masih menemui kendala terutama terkait dengan payung perundangan yang ada. Upaya kemudian dilanjutkan dengan bekerja sama dengan GIZ (lembaga bantuan teknis dari Jerman) melalui program FORCLIME (Forest and Climate Change Programme) yang didanai oleh KfW (Bank Pembangunan Jerman) untuk menjual jasa lingkungan karbon dari HL Long Ketrok ini.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil analisis tentang karbon tersimpan dalam biomassa tegakan hutan lindung Long Ketrok dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hutan Lindung Long Ketrok telah memberikan manfaat lingkungan bagi warga Desa Setulang sebagai pengatur tata air dan hasil hutan non kayu seperti rotan, buah-buahan, tanaman obat-obatan, sayur, dsb.
2. Komposisi jenis HL Long Ketrok adalah Ulin, Tengkwang, Tengkwang Rambai, Tengkwang Tengkal/Tengkwang Burung, Tengkwang Terendak, Jelutung, Ketipai, Banggeris, Pangi/Kepayang, Gaharu, Rotan Merah, Rotan Segi, Rotan Lilin, Rotan Semule, Rotan Gelang.
3. Estimasi total karbon tersimpan dalam biomassa hutan lindung Long Ketrok menurut metode Yamakura *et al.* (1986) adalah 304 ton/ha dengan jumlah karbon di atas permukaan tanah sebesar 255 ton/ha, karbon tersimpan dalam akar sebesar 42 ton/ha, dan karbon tersimpan dalam nekromassa sebesar 7 ton/ha, sementara itu, karbon tersimpan dalam biomassa di atas permukaan tanah, dalam akar, dan nekromassa menurut metode Chave *et al.* (2005), berturut-turut adalah: 234, 39, dan 7 ton/ha, sedangkan menurut metode Brown. (1997) karbon tersimpan dalam biomassa di atas permukaan tanah, dalam akar, dan nekromassa berturut-turut adalah: 211, 36, dan 7 ton/ha.
4. Perbedaan hasil perhitungan estimasi karbon tersimpan dalam biomassa tegakan terjadi karena metode yang digunakan berbeda. Pemilihan metode dapat dilakukan berdasarkan skenario optimis dan pesimis, dimana metode Yamakura *et al.* (1986) dengan hasil estimasi tertinggi dapat digunakan sebagai skenario optimis. Sedangkan, metode Brown (1997) dengan hasil terendah dapat dipergunakan sebagai skenario pesimis.
5. Proporsi fraksi pohon batang, cabang, akar, dan daun dalam biomassa hutan lindung Long Ketrok berturut-turut adalah: 70,70%, 14,56%, 14,14%, dan 0,61%

B. Saran

Penelitian ini menunjukkan bahwa total karbon yang tersimpan dalam biomassa hutan alam tidak terganggu cukup bervariasi dan tidak seragam seperti yang ditunjukkan dalam nilai *default* dalam Tier 1. Untuk dapat memberikan gambaran tentang variasi jumlah karbon tersimpan dalam biomassa tegakan hutan alam tidak terganggu skala nasional, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada zona ekologi yang berbeda.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Yuli Nugroho dan Kresno Dwi Santosa yang telah membantu penulis dalam pengambilan data di lapangan. Penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada *Tropenbos International Indonesia Programme* atas dukungan dana dan fasilitas alat yang diberikan, sehingga kegiatan penelitian ini dapat dilaksanakan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Basuki, T.M., van Laake, P.E., Skidmore, A.K., Hussin, Y.A., 2009. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. *Forest Ecology and Management* 257, 1684-1694.
- Baumert, K.A., Herzog, T., Pershing, J., 2005. Navigating the numbers: Greenhouse gas data and international climate policy. World Resource Institute.
- Bertault, J.G., Sist, P., 1997. An experimental comparison of different harvesting intensities with reduced-impact and conventional logging in East Kalimantan, Indonesia. *Forest Ecology and Management* 94, 209-218.
- Blom, B., Sunderland, T., Murdiyarso, D., 2010. Getting REDD to work locally: lessons learned from integrated conservation and development projects. *Environmental Science and Policy*.
- Brown, S., 1997. Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer. In: FAO, Rome.
- Cairns, M.A., Brown, S., Helmer, E.H., Baumgardner, G.A., 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia* 111, 1-11.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M.A., Chambers, J.Q., Eamus, D., Folster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J.P., Nelson, B.W., Ogawa, H., Puig, H., Riera, B., Yamakura, T., 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and

- balance in tropical forests. *Oecologia* 145, 87-99.
- Hairiah, K., Ekadinata, A., Sari, R.R., Rahayu, S., 2011. Pengukuran cadangan karbon dari tingkat lahan ke bentang lahan. World Agroforestry Center, Bogor Indonesia.
- Harris, N.L., Petrova, S., Stolle, F., Brown, S., 2008. Identifying optimal areas for REDD intervention: East Kalimantan, Indonesia as a case study. *Environmental Research Letter* 3.
- Indrajaya, Y., 2012. Cadangan karbon hutan bekas tebangan pembalakan berdampak rendah dan konvensional di Kalimantan Timur: Studi kasus hutan Malinau. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan* 9, 21-30.
- IPCC, 2006. IPCC Guideline 2006 Guidelines for national green house gas inventories.
- IPCC, 2007. Climate change 2007: Impacts, adaptation, and vulnerability. In: Parry, M., Canziani, O., Palutikof, J., Linden, P.v.d., Hanson, C. (Eds.), *Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Inter Governmental Panel on Climate Change*. IPCC.
- Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 1990 tentang Pengelolaan Kawasan Lindung.
- Machfudh, 2002. General description of the Bulungan Research Forest. In, Technical report phase I 1997-2001 ITTO Project PD 12/97 Rev.1 (F) Forest, Science and Sustainability: The Bulungan model forest. CIFOR, Bogor Indonesia.
- Pagiola, S., Landell-Mills, N., Bishop, J., 2002. Market-based mechanisms for forest conservation and development. In: Pagiola, S., Landell-Mills, N., Bishop, J. (Eds.), *Selling Forest Environmental Services: Market-based mechanism for conservation and development*. Earthscan, London.
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 61 tentang Rencana Aksi Nasional Gas Rumah Kaca.
- Rahayu, S., Lusiana, B., Noordwijk, M.v., 2006. Pendugaan cadangan karbon di atas permukaan tanah pada berbagai sistem penggunaan lahan di kabupaten Nunukan, Kalimantan Timur. ICRAF, Bogor-Indonesia.
- Samsedin, I., Dharmawan, I.W.S., Siregar, C.A., 2009. Potensi biomassa karbon hutan alam dan hutan bekas tebangan setelah 30 tahun di hutan penelitian Malinau, Kalimantan Timur. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam* VI, 47-56.
- Sheil, D., Kartawinata, K., Samsedin, I., Priyadi, H., Afriastini, J.J., 2010. The lowland forest tree community in Malinau, Kalimantan (Indonesian Borneo): results from a one-hectare plot. *Plant Ecol Divers* 3, 59-66.
- Sidiyasa, K., Zakaria, Iwan, R., 2006. Hutan Desa Setulang dan Sengayan Malinau, Kalimantan Timur: Potensi dan identifikasi langkah-langkah perlindungan dalam rangka pengelolaannya secara lestari. CIFOR, Bogor Indonesia.
- Sist, P., Saridan, A., 1999. Stand Structure and floristic composition of a primary lowland Dipterocarp forest in East Kalimantan. *Journal of Tropical Forest Science* 11, 704-722.
- Sist, P., Sheil, D., Kartawinata, K., Priyadi, H., 2003. Reduced-impact logging in Indonesian Borneo: some results confirming the need for new silvicultural prescriptions. *Forest Ecol Manag* 179, 415-427.
- Wunder, S., Campbell, B., Frost, P.G.H., Sayer, J.A., Iwan, R., Wollenberg, L., 2008. When Donors Get Cold Feet: the Community Conservation Concession in Setulang (Kalimantan, Indonesia) that Never Happened. *Ecol Soc* 13.
- Yamakura, T., Hagihara, A., Sukardjo, S., Ogawa, H., 1986. Aboveground Biomass of Tropical Rain-Forest Stands in Indonesian Borneo. *Vegetatio* 68, 71-82.