

Potensi Cadangan Karbon Hutan Nabundong KPH Wilayah VI Sumatera Utara

(Carbon Stock Potential of Nabundong Forest KPH Region VI North Sumatera)

Yustika Fadilah Siregar^{1*}, Basuki Wasis², Iwan Hilwan³

(Diterima Januari 2018/Disetujui Maret 2018)

ABSTRAK

Hutan mempunyai peran yang besar dalam siklus karbon global, yaitu sekitar 50% total karbon diserap dalam bentuk biomassa dan 50% lagi tersimpan di tanah pada lapisan atas, yaitu 1 m dari permukaan tanah. Penelitian tentang potensi cadangan karbon ini dilakukan di kawasan Hutan Nabundong, Kabupaten Padang Lawas Utara. Kawasan Hutan Nabundong ini merupakan hutan produksi yang dikelola oleh KPH (Kesatuan Pemangkuan Hutan) Wilayah VI Sumatera Utara. Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi struktur hutan, menduga nilai biomassa bagian atas permukaan tanah menggunakan persamaan alometrik serta menentukan kandungan karbon Hutan Nabundong. Berdasarkan hasil pengamatan menunjukkan bahwa stratum I (212,68 tonC/ha) mempunyai kandungan karbon yang lebih tinggi dibandingkan dengan stratum II (151,78 tonC/ha).

Kata kunci: biomassa atas permukaan, Hutan Nabundong, nekromassa, simpanan karbon

ABSTRACT

Tropical forest plays a major role in global carbon (C) cycle, about 50% of the total carbon is stored in biomass and 50% is stored in the top 1 m of the soil. Research on the potential for carbon stock was conducted in Nabundong forest in Padang Lawas Utara District. It was managed by the FMU (Forest Management Unit) region VI North Sumatra. This research aims to identify forest structure, estimate above ground biomass using allometric equations, and determine the carbon stock potential of Nabundong forest. The results showed that stratum I (212.68 tonC/ha) had higher carbon stock than stratum II (151.78 tonC/ha).

Keywords: aboveground biomass, carbon stores, necromass, Nabundong forest

PENDAHULUAN

Pemanasan global (*global warming*) merupakan isu yang saat ini hangat diperbincangkan di kalangan masyarakat dunia karena meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca (GRK). Penyebab naiknya GRK tersebut adalah pembakaran bahan bakar fosil dan deforestasi (kebakaran hutan, *illegal logging*, dan konversi hutan) (Tiosanni 2015). Data dari Menteri Kehutanan Republik Indonesia (2014) menyebutkan bahwa, deforestasi kawasan hutan Indonesia tahun 2013–2014 sebesar 161.342,1 ha/tahun dan di Provinsi Sumatera Utara sebesar 3363,9 ha/tahun. Kegiatan deforestasi ini tentunya menyebabkan biomassa dalam bentuk tegakan akan membusuk dan terurai sehingga menghasilkan gas karbon dioksida dan terlepas ke atmosfer.

Hutan mempunyai peranan penting dalam penyerapan karbon melalui fotosintesis dan disimpan dalam bentuk biomassa. Jumlah cadangan karbon antara satu lahan dengan yang lainnya berbeda-beda tergantung pada keanekaragaman dan kerapatan tumbuhan yang ada, jenis tanah, serta cara pengelolaannya. Pada ekosistem daratan, cadangan karbon disimpan dalam 3 komponen pokok, yaitu bagian hidup (biomassa), mati (nekromassa), dan tanah (bahan organik tanah). Pengukuran cadangan karbon sangat penting dilakukan untuk mengetahui akumulasi karbon yang tersimpan.

Kondisi sebagian besar Hutan Nabundong sekarang ini sangat memprihatinkan, dengan adanya kejadian kebakaran hutan, konversi hutan menjadi lahan kebun, *illegal logging*, dan pembukaan kawasan hutan menjadi lahan-lahan pertanian tanpa melalui perizinan kepada pihak pengampu Hutan Nabundong, yang mana sebagian besar dilakukan oleh masyarakat desa di sekitar hutan. Pengelolaan hutan yang tidak sesuai dengan kaidahnya tentu dapat menurunkan kualitas fungsi hutan terutama fungsi ekologisnya seperti tempat berlindung makhluk hidup (satwa), memelihara kesuburan tanah, proteksi daerah aliran sungai, pengendali erosi, dan dalam kasus ini adalah kemampuan hutan dalam penyimpanan karbon

¹ Program Pascasarjana, Departemen Silvikultur Tropika, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680.

² Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680.

³ Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680.

* Penulis Korespondensi: E-mail: yustikafs@gmail.com

dioksida. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian mengenai potensi simpanan karbon di Hutan Nabundong KPH (Kesatuan Pemangkuan Hutan) Wilayah VI Sumatera Utara, tepatnya di Kabupaten Padang Lawas Utara yang bertujuan untuk menentukan biomassa bagian atas permukaan tanah dengan metode non-destruktif dan menentukan simpanan karbon dioksida pada *carbon pool* di areal berkerapatan tinggi dan rendah di Hutan Nabundong.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Hutan Nabundong yang merupakan kawasan hutan produksi dikelola oleh KPHL unit XXVI Tapanuli Selatan, Padang Lawas Utara, KPH Wilayah VI Sumatera Utara pada bulan April–Juli 2017. Secara geografis terletak di titik koordinat 99°.20'.0"–99°.55'.0" BT dan 01°.15'.0"–01°.55'.0" LT. Secara administrasi KPH Wilayah VI terbagi dalam dua kabupaten, yaitu Tapanuli Selatan (50.173 ha) dan Padang Lawas Utara (122.973 ha).

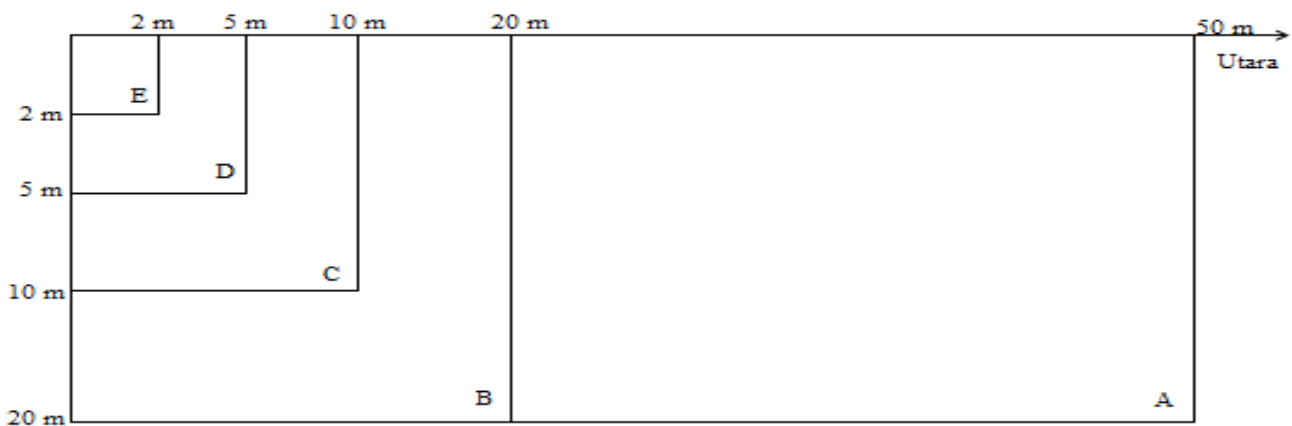
Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah GPS (*Global Positioning System*), kompas, meteran (50 m), *clinometer*, kaliper, parang/golok, tambang, tali rafia, timbangan (10 kg), plastik bening, kertas label, ring sampel, kantong plastik (1 dan 2 kg), palu, papan, tongkat dbh 1,3 m, patok, *aluminium foil*, alat tulis, dan kamera. Adapun bahan yang digunakan adalah koran, alkohol 70%, *tally sheet*, serasah, nekromassa, sampel tanah, dan vegetasi Hutan Nabundong di Kabupaten Padang Lawas Utara.

Plot contoh ditetapkan menggunakan metode *stratified random sampling* (penarikan contoh acak berlapis). Stratifikasi yang dilakukan berdasarkan kondisi tutupan lahan (Rusolono *et al.* 2015), sehingga lokasi penelitian pada Hutan Nabundong dibagi menjadi dua, yaitu areal berkerapatan tinggi (*stratum I*) dan rendah (*stratum II*) sebanyak 10 plot setiap *stratum* dengan menggunakan plot tersarang (*nested plot*), yaitu berbentuk persegi panjang yang berukuran 20 x 50 m (Gambar 1). Plot tersebut terbagi menjadi 5 subplot, yaitu subplot A (20 x 50 m) untuk pengukuran tingkat pertumbuhan pohon yang berdiameter besar

(≥35 cm) kayu mati berdiri dan kayu mati rebah; subplot B (20 x 20 m) untuk pengukuran tingkat pertumbuhan pohon yang berdiameter kecil (20–34,99 cm); subplot C (10 x 10 m) untuk pengukuran tingkat pertumbuhan tiang, palem, dan paku pohon; subplot D (5 x 5 m) untuk pengukuran tingkat pertumbuhan pancang; dan subplot E (2 x 2 m) untuk pengamatan tumbuhan bawah dan serasah (Rusolono *et al.* 2015). Adapun pengertian tingkat pertumbuhan pancang adalah permudaan yang tingginya 1,5 m dan lebih sampai dengan pohon-pohon muda yang berdiameter 10 cm; tiang adalah pohon muda yang berdiameter 10–20 m; pohon adalah pohon yang berdiameter 20 m ke atas (Soerianegara & Indrawan 1998).

Pengambilan data pohon baik tingkat pertumbuhan pancang, tiang, dan pohon dilakukan dengan mengukur diameter dan tinggi totalnya. Sampel tumbuhan bawah (*understorey*) dilakukan dengan semua tumbuhan hidup pada subplot 2 x 2 m yang mempunyai tinggi <1,5 m baik yang berkayu maupun tidak berkayu termasuk semai (Hairiah *et al.* 2011) kemudian ditimbang. Selanjutnya, diambil contoh uji sebanyak 300 gr kemudian dioven pada suhu 80 °C selama 48 jam untuk mengetahui berat keringnya. Serasah adalah semua biomassa mati dengan ukuran >2 mm dan diameter <10 cm. Teknik pengambilan sampel pada serasah sama halnya dengan tumbuhan bawah.

Kayu mati adalah semua kayu mati, baik kayu mati yang masih tegak dan rebah dengan diameter lebih dari 10 cm. Kayu mati yang diukur dalam penelitian terbagi menjadi dua, yaitu kayu mati berdiri dan rebah. Kayu mati berdiri adalah semua tumbuhan berkayu yang termasuk ke dalam tingkat pertumbuhan pancang, tiang, dan pohon yang sudah mati (tidak menunjukkan adanya bagian pohon yang hidup) tetapi masih berdiri tegak dan mengklasifikasikan tingkat keutuhan berdasarkan kelas keutuhannya (Gambar 2). Pengamatan kayu mati rebah dilakukan apabila ≥50% dari bagian diameter kayu masih berada di atas permukaan tanah. Sebelumnya, dilakukan perkiraan tingkat pelapukan kayu mati dengan cara memukul/menebaskan golok/parang pada bagian yang mewakili dari kayu (misalnya di tengah batang). Tingkat pelapukan kayu mati dikategorikan menjadi



Gambar 1 Bentuk pembuatan tersarang (*nested plot*) berbentuk persegi panjang 20 x 50 m.

tiga kelas, diantaranya kelas 1 tidak/belum lapuk, yaitu jika golok yang ditebaskan sulit menembus bagian kayu mati; kelas 2 agak lapuk, yaitu apabila golok yang ditebaskan agak mudah menembus bagian kayu mati; dan kelas 3 lapuk, yaitu golok yang ditebaskan sangat mudah menembus bagian kayu mati, dengan tenaga yang diperkirakan sama pada saat penentuan kategori. Selanjutnya, dilakukan pengukuran diameter pangkal (D_p), diameter ujung (D_u), dan panjang (P) pada setiap kayu mati yang berada di dalam plot.

Struktur Hutan

Struktur tegakan yang diamati dalam penelitian ini, yaitu struktur vertikal (stratifikasi tajuk) dan horisontal (sebaran diameter pohon). Cara untuk mengetahui struktur vertikal hutan, setiap individu pohon yang dijumpai di dalam petak ukur dan dikelompokkan berdasarkan kelas tinggi atau lapisan tajuk. Menurut Soerianegara & Indrawan (1998), lapisan stratum terdiri dari lapisan A (>30 m), B (20–30 m), C (4–20 m), D (1–4 m). Adapun struktur horisontal untuk mengetahui penyebaran diameter pohon di hutan (struktur horisontal), maka setiap individu yang dijumpai di dalam petak ukur dikelompokkan dalam 7 kelas diameter, yaitu <10 cm; 10–19,9 cm; 20–29,9 cm; 30–39,9 cm; 40–49,9 cm; 50–59,9 cm; dan 60 cm atau lebih.

Pendugaan Biomassa

Biomassa tumbuhan bawah dan serasah dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut (BSN 2011):

$$B = \left(\frac{BKC}{BBC}\right) \times TBB \tag{1}$$

Keterangan:

- B : biomassa tumbuhan bawah (kg)
- BKC : berat kering, contoh vegetasi (kg)

- BBC : berat basah, contoh vegetasi (kg)
- TBB : total berat basah, contoh vegetasi (kg)

Biomassa vegetasi baik pohon, palem, dan paku pohon dihitung menggunakan persamaan alometrik yang tertera pada Tabel 1.

Cadangan karbon pohon mati dihitung menggunakan persamaan alometrik untuk pohon hidup (yang digunakan dalam penelitian) kemudian diintegrasikan dengan faktor koreksi sesuai dengan tingkat keutuhan pohon (BSN 2011; Manuri *et al.* 2012; Rusolono *et al.* 2015). Nekromassa pohon mati untuk kelas 1, 2, dan 3 menggunakan persamaan (2), adapun untuk pohon mati kelas 4 menggunakan persamaan (3) sebagai berikut:

$$B_{pm} = f \times B_p \tag{2}$$

$$B_{pm} = 0,25 \pi \left(\frac{D}{100}\right) \times T \times f \times WD_{pm} \tag{3}$$

Keterangan:

- B_{pm} : biomassa pohon mati (kg)
- B_p : persamaan alometrik yang digunakan pada pohon hidup dalam penelitian
- D : diameter pohon mati (cm)
- T : tinggi pohon mati/tunggak (m)
- f : aktor koreksi (kelas 1 = 0,9; kelas 2 = 0,8; kelas 3 = 0,7; dan 0,6 jika tidak ada)
- WD_{pm} : wood density atau kerapatan pohon mati (kg/m^3)

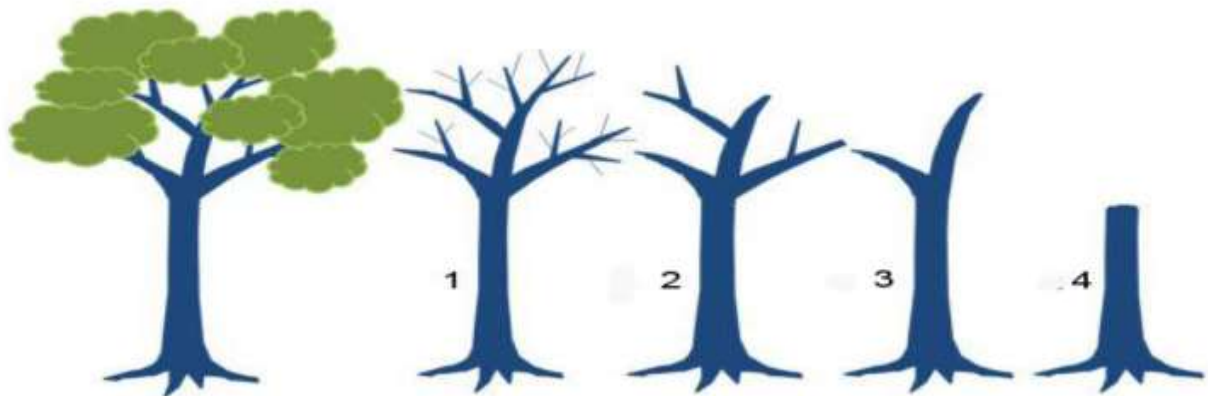
Adapun cadangan karbon kayu mati dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$B_{km} = V_{km} \times WD_{km} \tag{4}$$

$$V_{km} = 0,25 \pi \times \left(\frac{D_p + D_u}{200}\right)^2 \times P \tag{5}$$

Keterangan:

- B_{km} : biomassa kayu mati (kg)
- V_{km} : volume kayu mati (m^3)
- D_p : diameter pangkal (cm)



Gambar 2 Tingkat keutuhan pohon mati (Rusolono *et al.* 2015).

Tabel 1 Model-model alometrik yang digunakan dalam penelitian

Jenis	Model alometrik
Pohon	$B = 0,071D^{2,667}$
Palem	$B = 21,297 - 6.953D + 0.740D^2$
Paku Pohon	$B = - 4266348 / (1 - 2792284 \exp (0,313677 H))$

Keterangan: B = biomassa (kg), D = diameter setinggi dada (cm), dan H = tinggi (m).

Sumber: Brown (1997); Tiepolo *et al.* (2002); Manuri *et al.* (2017).

Du : diameter ujung (cm)
 P : Panjang kayu mati (m)
 WD_{km} : *wood density* atau kerapatan kayu mati (kg/m^3)

Pengujian kerapatan kayu dilakukan pada pohon mati dengan tingkat keutuhan kelas 4 dan kayu mati. Bagian contoh kayu yang diambil berupa piringan (tebal 2 cm) maupun kubus (2 x 2 x 2 cm) kemudian dibungkus menggunakan *aluminium foil* untuk menjaga kadar air di dalam sampel kayu sebelum melakukan pengovenan. Selanjutnya, disimpan pada wadah agar tidak hancur untuk dianalisis nilai kerapatannya di laboratorium (Rusolono *et al.* 2015), dengan menggunakan persamaan (6).

$$\text{Kerapatan kayu} = \frac{\text{Berat kayu kondisi kering udara (g)}}{\text{Volume kayu kondisi kering udara (cm}^3\text{)}} \quad (6)$$

Kandungan Karbon

Perhitungan kandungan karbon baik dari biomassa maupun nekromassa menurut BSN (2011) adalah menggunakan persamaan (7) dengan keterangan bahwa C adalah kandungan karbon dari komponen biomassa atau nekromassa (kg), B adalah total biomassa (kg) dan % Corganik adalah nilai persentase kandungan karbon, yaitu sebesar 0,4.

$$C = B \times \% \text{Corganik} \quad (7)$$

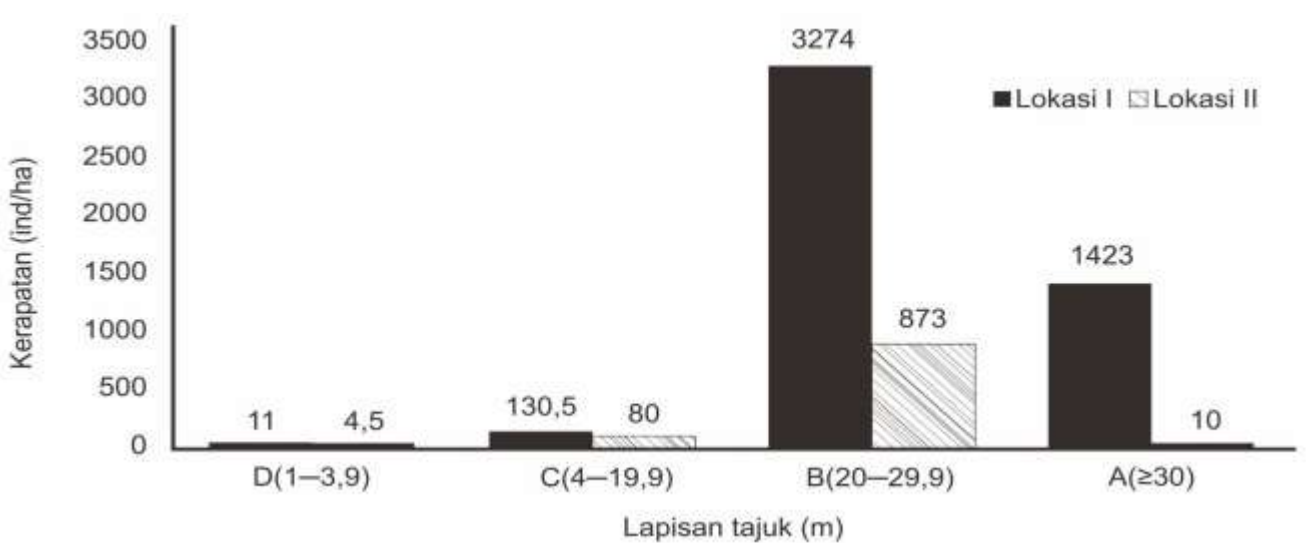
HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur Hutan

Data pada Gambar 3 menunjukkan bahwa strata tajuk yang ditemukan pada lokasi penelitian terdiri dari 4 lapisan, yaitu lapisan A (≥ 30 m), lapisan B (20–29,9 m), lapisan C (4–19,9 m), dan lapisan D (1–3,9 m). Misra (1980) menyatakan bahwa, dalam kanopi hutan, pohon-pohon, dan tumbuhan terna menempati tingkat yang berbeda dan dalam hutan hujan tropika akan ditemukan tiga sampai dengan lima lapisan tajuk. Kerapatan lapisan tajuk yang paling tinggi adalah

lapisan B, baik di stratum I (3274 ind/ha) dan stratum II (873 ind/ha). Pada areal pengamatan stratum I dan II terlihat bahwa strata B lebih banyak ditemukan dan yang paling sedikit adalah strata D. Selain itu, dapat dilihat bahwa lapisan A memiliki kerapatan individu yang sedikit, yaitu 1423 ind/ha (stratum I) dan 10 ind/ha (stratum II) jika dibandingkan lapisan B. Hal ini menunjukkan bahwa, sangat sulit dan membutuhkan waktu yang lama untuk mencapai lapisan tajuk tersebut, dikarenakan persaingan yang cukup tinggi baik dari segi nutrisi, air tanah, maupun dalam memperoleh cahaya matahari. Oleh karena itu, hanya pohon-pohon yang berumur tua atau pohon klimaks saja yang mampu mencapai lapisan tajuk A, sehingga kerapatan pohonnya lebih sedikit dan muncul satu-satu (tidak kontinu). Adapun lapisan tajuk B pada umumnya disusun oleh pohon-pohon yang lebih muda, yang mana untuk mencapai tinggi 20 m memerlukan waktu yang lebih singkat jika dibandingkan dengan lapisan tajuk A. Oleh karena itu, pada struktur vertikal hutan kerapatan pohon yang menyusun lapisan tajuk B lebih banyak dan lebih kontinu (Wahyu 2002). Indriyanto (2006) juga menjelaskan bahwa, perbedaan lapisan tajuk diakibatkan adanya persaingan antara tumbuhan sehingga muncul pohon yang mampu bersaing, memiliki pertumbuhan yang kuat, dan menjadi dominan dan lebih berkuasa, serta adanya sifat toleransi pohon terhadap intensitas matahari.

Struktur horisontal hutan merupakan gambaran hubungan antara kerapatan pohon per hektar dengan diameternya. Sebaran kelas diameter tegakan ini dibagi menjadi tujuh kelas. Pada Gambar 4 terlihat bahwa, secara umum baik pada stratum I dan II kerapatan individu pohon semakin menurun dari kelas diameter yang terkecil hingga kelas diameter yang lebih besar. Kondisi tegakan di kedua lokasi penelitian didominasi oleh tingkat pertumbuhan pancang dan tiang, sehingga grafik pada Gambar 4 menunjukkan sebaran diameter membentuk kurva J terbalik. Hal ini juga mengindikasikan bahwa kondisi hutan tersebut masih dalam keadaan yang normal/seimbang dan



Gambar 3 Sebaran kelas lapisan tajuk pada dua stratum pengamatan di Hutan Nabundong.

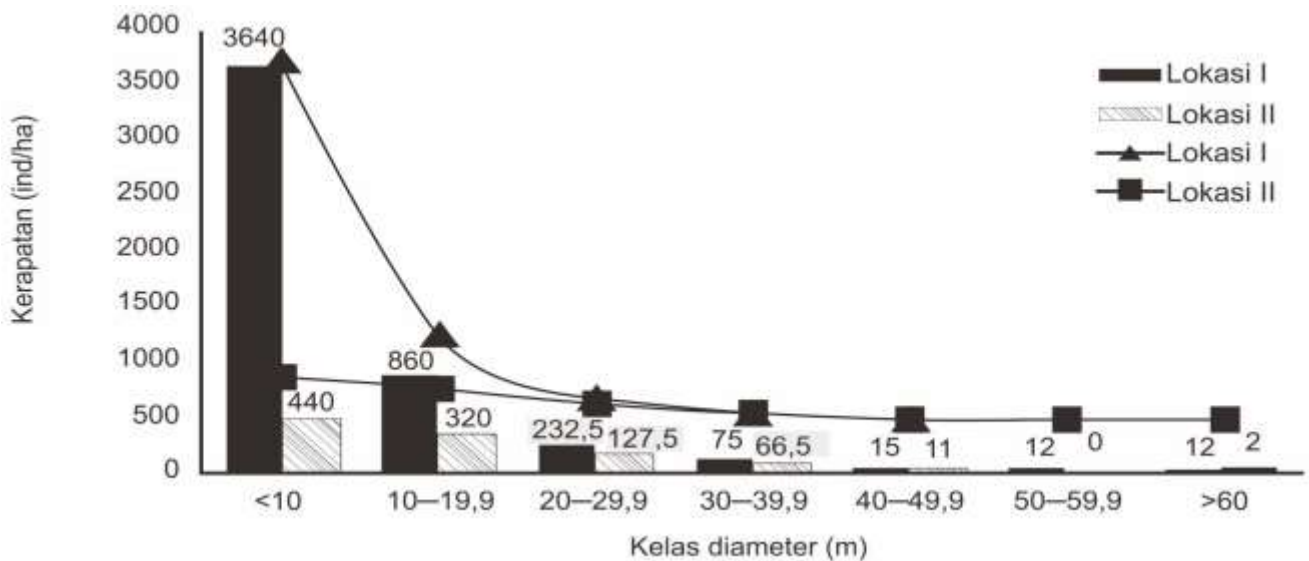
masih memungkinkan adanya persediaan permudaan untuk regenerasi di masa mendatang (Onrizal *et al.* 2005; Sidiyasa 2009; Dendang & Handayani 2015).

Biomassa dan Cadangan Karbon Hutan

Hasil analisis data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa, cadangan karbon pada stratum I (212,68 tonC/ha) lebih besar jika dibandingkan dengan stratum II (151,78 tonC/ha). Nilai kandungan karbon ini menurut Chairul *et al.* (2016) ditentukan oleh biomassa, sedangkan besarnya biomassa dipengaruhi oleh diameter batang, tinggi pohon, kerapatan, dan kerapatan pohon di atas pohon tersebut. Perbedaan simpanan karbon dioksida pada kedua stratum disebabkan intensitas gangguan hutan yang lebih besar pada stratum II, sehingga kondisi vegetasi di stratum I lebih rapat jika dibandingkan dengan stratum II. Hal tersebut sejalan dengan hasil penelitian Junaedi (2007) bahwa, hutan lahan kering yang masih primer di Kalimantan Tengah mempunyai cadangan karbon sebesar 229,33 tonC/ha, sedangkan areal hutan bekas tebangan hanya berkisar 57,66–107,71 tonC/ha. Jeyanny *et al.* (2014) juga menyebutkan bahwa, hutan dataran rendah di Jengka Malaysia mempunyai cadangan karbon bagian atas permukaan tanah yang lebih rendah, yaitu 75,35 tonC/ha jika dibandingkan dengan hutan pegunungan yang masih primer, yaitu berkisar antara 108,61–119,24 tonC/ha. Krisnawati *et al.* (2014); Rochmayanto *et al.* (2014) melaporkan

bahwa, cadangan karbon pada hutan sekunder lebih rendah dari pada hutan primer (kondisi hutan tidak terganggu), karena adanya gangguan pada hutan sekunder sehingga berdampak pada penurunan cadangan karbon. Behera *et al.* (2017); Urbano & Keeton (2017) menyatakan bahwa, faktor struktur komunitas seperti kerapatan tegakan dan luas bidang dasar tegakan mempunyai korelasi yang sangat kuat mendukung pada meningkatnya biomassa atas permukaan dan simpanan karbondioksidanya.

Kondisi cadangan karbon, baik di stratum I dan II didominasi oleh komponen biomassa, yaitu sebesar 97,44 dan 69,27%, sedangkan cadangan karbon nekromassa hanya 2,56 dan 30,73%. Cadangan karbon yang tinggi pada komponen biomassa di stratum I dan II, dikarenakan biomassa tersebut merupakan komponen vegetasi hidup yang aktif melakukan proses fotosintesis (menangkap CO₂ dari atmosfer) dan mengakumulasi dalam bentuk biomassa baik terkonsentrasi pada batang, cabang, ranting, daun, bunga, dan buah. Tingkat pertumbuhan pohon (pohon besar dan kecil) mempunyai simpanan karbon dioksida yang lebih tinggi, karena pohon mempunyai kemampuan fotosintesis yang lebih besar jika dibandingkan dengan komponen lainnya. Cadangan karbon nekromassa pada stratum II yang lebih tinggi daripada stratum I, dikarenakan tingkat gangguan pada stratum II lebih besar, seperti pembukaan lahan dan penebangan kayu secara ilegal,



Gambar 4 Sebaran kelas diameter pada dua stratum pengamatan di Hutan Nabundong.

Tabel 2 Potensi cadangan karbon di Hutan Nabundong

Gudang karbon (<i>Carbon pool</i>)		Biomassa (ton/ha)		Cadangan karbon (tonC/ha)	
		Lokasi I	Lokasi II	Lokasi I	Lokasi II
Bagian hidup	Tumbuhan bawah	0,75	1,72	0,35	0,81
	Pancang	39,81	8,77	18,71	4,12
	Tiang	87,45	36,19	41,10	17,01
	Pohon kecil	131,74	85,01	61,92	39,95
	Pohon besar	181,18	92,01	85,15	43,25
Bagian mati	Serasah	2,98	4,83	1,40	2,27
	Kayu mati berdiri	5,49	82,34	2,58	38,70
	Kayu mati rebah	3,12	12,07	1,47	5,67
Total		452,51	322,93	212,68	151,78

sehingga menyisakan limbah yang lebih banyak. Sama halnya, dengan hasil penelitian Bismark *et al.* (2008), yaitu cadangan karbon pada nekromassa di hutan bekas tebangan lebih besar dari pada hutan primer. Hutan primer di Hutan Negeri Soya, Kota Ambon mempunyai cadangan karbon bagian atas permukaan sebesar 219,43 tonC/ha, sedangkan pada hutan lahan sekunder hanya 73,23 tonC/ha (Komul *et al.* 2016).

KESIMPULAN

Kondisi struktur Hutan Nabundong secara vertikal terdiri dari empat lapisan tajuk, yaitu lapisan A, B, C, dan D dengan kerapatan tertinggi pada stratum I, yaitu 3274 ind/ha (stratum I) dan 873 ind/ha (stratum II). Struktur hutan secara horisontal terdiri dari 7 kelas diameter, dengan kerapatan semakin vegetasi semakin menurun dengan semakin besar kelas diameter pada kedua stratum yang diamati. Cadangan karbon total pada kedua stratum sebesar 364,46 tonC/ha, dengan cadangan karbon stratum I lebih besar dari pada stratum II, yaitu 212,68 dan 151,78 tonC/ha. Persentase simpanan karbon dioksida pada gudang karbon (*carbon pool*) di stratum I adalah 97,44% (biomassa) dan 2,56% (nekromassa), adapun di stratum II adalah 69,27% (biomassa), dan 30,73% (nekromassa).

DAFTAR PUSTAKA

- Behera SK, Sahu N, Mishra AK, Bargali SS, Behera MD, Tuli R. 2017. Aboveground biomass and carbon stock assesment in Indian Tropical Deciduous Forest and relationship with stand structural attributes. *Ecological Engineering*. 99: 513–524. <http://doi.org/cmmj>
- Bismark M, Heriyanto NM, Iskandar S. 2008. Biomassa dan kandungan karbon pada hutan produksi di Cagar Alam Biosfer Pulau Siberut, Sumatera Barat. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*. 5(5): 397–407. <http://doi.org/cmmk>
- Brown S. 1997. *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests a Primer*. Urbana (US): FAO Forestry Paper 134.
- [BSN] Badan Standarisasi Nasional. 2011. *SNI 7724:2011: Pengukuran dan Perhitungan Cadangan Karbon - Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan (Ground based Forest Carbon Accounting)*. Jakarta (ID): Badan Standarisasi Nasional.
- Chairul, Muchtka E, Mansyurdin, Tesri M, Indra G. 2016. Struktur kerapatan vegetasi dan estimasi kandungan karbon beberapa kondisi hutan di Pulau Siberut Sumatera Barat. *Jurnal Metamorfosa*. 3(1): 15–22.
- Dendang B, Handayani W. 2015. Struktur dan komposisi tegakan hutan di Taman Nasional Gunung Gede Pangrango, Jawa Barat. Dalam: *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*. 1(4): 691–695. <http://doi.org/cmmn>
- Hairiah K, Ekadinata A, Sari RR, Rahayu S. 2011. *Petunjuk Praktis Pengukuran Cadangan Karbon: dari Tingkat Bentang Lahan ke Bentang Lahan Edisi Kedua*. Bogor (ID): World Agoroforestry Centre.
- Indriyanto. 2006. *Ekologi Hutan*. Jakarta (ID): PT Bumi Aksara.
- Jeyanny V, Husni MHA, Rasidah KW, Kumar BS, Arifin A, Kamar M. 2014. Carbon stocks in different carbon pools of a tropical lowland forest and montane forest with varying topography. *Journal of Tropical Forest Science*. 26(4): 560–571.
- Junaedi A. 2007. Dampak pemanenan kayu dan perlakuan silvikultur Tebang Pilih Tanam Jalur (TPTJ) terhadap potensi kandungan karbon dalam vegetasi hutan alam tropika (studi kasus di areal IIUPHHK PT Sari Bumi Kusuma, Kalimantan Tengah). [Tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Komul YD, Mardiatmoko G, Maail RS. 2016. Analisis kandungan biomassa dan karbon tersimpan (*carbon stock*) pada PSP (*Plot Sampling Permanent*) Hutan Negeri Soya Kota Ambon. *Jurnal Hutan Pulau-Pulau Kecil*. 1(1): 72–83.
- Krisnawati H, Adinughroho WC, Imanuddin R, Hutabarat S. 2014. *Pendugaan Biomassa Hutan untuk Perhitungan Emisi CO₂ di Kalimantan Tengah*. Bogor (ID): Pusat Penelitian dan Pengembangan Konservasi dan Rehabilitasi, Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan.
- Manuri S, Kumara I, Azwar W, Irwan M, Supriyanto, Firdaus M, Somala E. 2012. *Inventarisasi Tegakan Hutan dan Cadangan di KPH Kapuas Hulu*. Samarinda (ID): Forest and Climate Programe-German International Cooperation.
- Menteri Kehutanan Republik Indonesia. 2014. Keputusan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor 579/Menhut-II/2014 tentang Kawasan Hutan Provinsi Sumatera Utara. Jakarta (ID): Menteri Kehutanan Republik Indonesia.
- Misra KC. 1980. *Manual of Plant Ecology, Second Edition*. New Delhi (IN): Oxford and IBH Publishing Co.
- Onrizal, Kusmana C, Saharho BH, Handayani IP, Kato T. 2005. Komposisi jneis dan struktur hutan kerangas bekas kebakaran di Taman Nasional Danau Sentarum, Kalimantan Barat. *Biodiversitas*. 6(4): 263–265. <http://doi.org/cmmpp>
- Rochmayanto Y, Wibowo A, Lugina M, Butar-butur T, Mulyadin RM, Wicaksono D. 2014. *Cadangan*

- Karbon pada Berbagai Tipe Hutan dan Jenis Tanaman di Indonesia (Seri 2)*. Rusulono T, editor. Yogyakarta (ID): PT Kanisius.
- Rusulono T, Tiryana T, Purwanto J. 2015. *Panduan Survei Cadangan Karbon dan Keanekaragaman Hayati di Sumatera Selatan*. Palembang (ID): Biodiversity and Climate Change Project, German International Cooperation-GIZ dan KLHK Dinas Kehutanan Provinsi Sumatera Selatan.
- Sidiyasa K. 2009. Struktur dan komposisi tegakan serta keanekaragaman di hutan lindung Sungai Wain, Balikpapan, Kalimantan Timur. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*. 6(1): 79–93. <http://doi.org/cmmq>
- Soerianegara I, Indrawan A. 1998. *Ekosistem Hutan Indonesia*. Bogor (ID): Fakultas Kehutanan IPB.
- Tiepolo, Gilberto, Calmon M, Feretti AR. 2002. *Measuring and Monitoring Carbon Stocks at the Guaraquecaba Climate Action Project, Parana, Brazil*. Taiwan (TW): Taiwan Forestry Research Institute.
- Tiosanni A. 2015. *Buku Kegiatan Serapan dan Emisi Karbon*. Sugardima RRA, Rovani R, editor. Jakarta (ID): Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Urbano AR, Keeton WS. 2017. Carbon dynamics and structural development in recovering secondary forests of the Northeastern U.S. *Forest Ecology and Management*. 392: 21–35. <http://doi.org/f96tpj>
- Wahyu A. 2002. Komposisi jenis pohon dan struktur tegakan di Hutan Hujan Tropika Gunung Karang Pandeglang Banten. [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.