



Potensi Simpanan Karbon pada Beberapa Tipologi Hutan Rawa Gambut di Kalimantan Tengah

Carbon Stocks Potential of Peatland Forests Typologies in Central Kalimantan

Muhammad Abdul Qirom*, Tri Wira Yuwati, Purwanto Budi Santosa, Wawan Halwany, & Dony Rachmanadi

Balai Penelitian dan Pengembangan Lingkungan Hidup dan Kehutanan Banjarbaru
Jl. Ahmad Yani Km 28,7 Landasan Ulin-Banjarbaru 70721

*E-mail: qirom.litbanglhk@gmail.com

HASIL PENELITIAN

Riwayat Naskah :

Naskah masuk (*received*): 6 September 2017

Diterima (*accepted*): 10 April 2018

KEYWORDS

carbon
necromass
soil
peat
vegetation

ABSTRACT

Accuracy of carbon stocks estimation can be enhanced by measuring each carbon pools in various forest peatland typologies. The carbon stocks measurement is associated with the amount of contents and fractions of carbon stocks. The research objectives were to obtain the information of carbon contents and carbon stocks potentials in each carbon pool in the peat typologies. Carbon stocks measurement was conducted in five carbon pools which were: vegetation (tree stages), litter, understory, necromass, and soil. The results showed that the carbon contents reached more than 50% of its dry weight. The carbon contents were not affected by the carbon pools and peat typologies. In the soil carbon pools, peat depth affected the amount of carbon content so that the magnitude of the conversion factor should concentrate to the depth of each peat typology. The greatest potential of carbon stocks was found in the secondary forest (3,733.08 Mg/ha) with the peat depths between 3-3.5 m, while the lowest potential of carbon stocks found in the bush typology (2243.49 Mg/ha) with the peat depths between 3 -3.5 m. In the peat typology, soil carbon stocks contributed more than 95% of total carbon stocks whereas necromass carbon stocks contributed the smallest amount of carbon. The fractions of carbon stocks in each carbon pools were soil > vegetation > litter > understory > necromass, respectively.

INTISARI

Akurasi pendugaan simpanan karbon hutan rawa gambut dapat ditingkatkan melalui pengukuran masing-masing gudang/sumber karbon dan berbagai macam tipologi hutannya. Pengukuran tersebut berkaitan dengan besarnya kandungan dan fraksi simpanan karbon pada masing-

KATA KUNCI

karbon
nekromasa
tanah
gambut
vegetasi

masing gudang karbon. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kandungan dan potensi simpanan karbon pada masing-masing gudang karbon di tipologi gambut. Pengukuran simpanan karbon dilakukan pada lima gudang karbon yakni vegetasi (tingkat permudaan pohon), serasah, tumbuhan bawah, nekromasa dan tanah. Hasil penelitian menunjukkan kandungan karbon adalah 50% dari berat kering biomassa. Kandungan karbon tidak dipengaruhi oleh gudang karbon dan tipologi gambut. Pada tanah gambut, kedalaman gambut mempengaruhi besarnya kandungan karbon sehingga besarnya faktor konversi harus memperhatikan kedalaman masing-masing tipologi gambut. Potensi simpanan karbon terbesar pada tipologi hutan sekunder dengan kedalaman gambut antara 3-3,5 m sebesar 3.722,08 Mg/ha sedangkan potensi simpanan karbon terendah pada tipologi semak belukar dengan kedalaman gambut 3-3,5 m sebesar 2243,49 Mg/ha. Pada hutan gambut, gudang karbon tanah menyumbang >95% dari simpanan karbon total. Gudang karbon nekromasa memberikan sumbangan simpanan karbon terkecil. Fraksi simpanan karbon pada masing-masing gudang karbon berturut-turut adalah tanah> vegetasi> serasah> tumbuhan bawah> nekromasa.

© Jurnal Ilmu Kehutanan-All rights reserved

Pendahuluan

Hutan rawa gambut (HRG) sebagai penyimpan karbon utama dunia dengan potensi yang sangat besar (Blackham et al. 2014). Hutan rawa gambut tropika sebagian besar terletak di Asia Tenggara seluas 24,8 juta ha (Page et al. 2011; Hirano et al. 2014). Menurut Rose et al. (2011), luas tersebut mencapai 60% dari luas total hutan tropika gambut di dunia. Hutan rawa gambut tersebut tersebar di Indonesia, Malaysia, Thailand, Brunei, dan sebagian kecil di Philipina. Indonesia mempunyai lahan gambut seluas 20,4 juta ha (Wahyunto et al. 2004) yang tersebar di Kalimantan, Sumatera, Papua, dan Sulawesi (Rose et al. 2011).

Saat ini, kondisi HRG terdegradasi akibat konversi lahan, penebangan liar, kebakaran hutan, dan lahan (Hirano et al. 2014; Page et al. 2011). Pada tahun 2015, kebakaran tersebut menghasilkan emisi karbon-dioksida (CO₂) sebesar 1,62 juta metrik ton dengan areal terbakar seluas 2,6 juta ha (Badan Restorasi Gambut (BRG) 2016). Kondisi ini menunjukkan bahwa hutan rawa gambut sebagai penyimpan karbon yang besar dan paling efisien (Page et al. 2002). Kebakaran lahan yang selalu berulang setiap tahun menyebabkan

hutan rawa gambut mengalami perubahan komposisi vegetasi (Qirom et al. 2013; Tata & Pradjadinata 2013) dan simpanan karbon (Qirom et al. 2013). Bonn et al. (2014) menyatakan degradasi hutan rawa gambut menyebabkan emisi CO₂ sebesar 25% dari total emisi pada sektor penggunaan lahan.

Berdasarkan fenomena tersebut, pemerintah berupaya melakukan restorasi lahan gambut agar lahan gambut dapat berfungsi seperti semula termasuk sebagai penyerap karbon utama. Hal ini sesuai dengan komitmen pemerintah untuk menurunkan emisi gas rumah kaca sebesar 29% dengan skenario *business as usual* pada tahun 2030 atau 41% dengan bantuan internasional. Salah satunya, melalui pengelolaan lahan gambut (Badan Restorasi Gambut (BRG) 2016). Provinsi Kalimantan Tengah menjadi salah satu target restorasi dengan luas 6,8 ribu ha (Qirom 2016) dari luasan 2,5 juta ha (Page et al. 2002). Indikator keberhasilan restorasi tersebut yakni banyak/luasnya gambut yang basah kembali dan peningkatan vegetasi pada lahan gambut. Indikator tersebut secara langsung berpengaruh dalam pengurangan emisi dan peningkatan simpanan karbon pada lahan gambut (BRG 2016).

Pembangunan petak ukur permanen (PUP) pada berbagai tipe dan tipologi lahan diperlukan untuk mendukung pengukuran keberhasilan restorasi gambut. Pembangunan PUP pada beberapa tipologi dan kedalaman gambut diperlukan untuk memonitor perubahan simpanan karbon pada keseluruhan gudang karbon di lahan gambut terdegradasi/hasil restorasi. Tipologi gambut tersebut antara lain semak belukar dan hutan sekunder dengan kedalaman gambut 3-3, 5 dan 4-5 m. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan kandungan dan potensi simpanan karbon pada masing-masing gudang karbon di tipologi gambut. Kandungan karbon didefinisikan banyaknya/besarnya konsentrasi C yang terkandung di dalam suatu gudang karbon tertentu seperti nekromasa, serasah, tumbuhan bawah, tanah (bahan organik) (Wauters et al. 2008) atau “massa karbon untuk setiap satuan berat” (Fahmuddin et al. 2011) sedangkan simpanan karbon didefinisikan sebagai akumulasi/ penjumlahan dari keseluruhan gudang karbon yang diukur yakni biomassa permukaan, bawah permukaan, nekromasa, serasah, dan tanah (Murdiyarsa et al. 2017). Hasil penelitian ini akan bermanfaat dalam rangka monitoring keberhasilan pelaksanaan restorasi gambut di Kalimantan Tengah.

Bahan dan Metode

Lokasi penelitian

Penelitian dilaksanakan di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Tumbang Nusa, Kalimantan Tengah. Kawasan hutan tersebut berdasarkan Surat Keputusan (SK) Penunjukan Menteri Kehutanan No. 76/Menhut-II/2005 tanggal 31 Maret 2005 seluas 5.000 ha dengan koordinat 02°18'37" – 02°22'34" LS dan 114°02'48" – 114°06'46" BT. Fungsi KHDTK menunjang kegiatan penelitian dan pengembangan Badan Litbang Kehutanan di dalam kawasan hutan. KHDTK Tumbang Nusa adalah satu-satunya KHDTK Badan Penelitian, Pengembangan, dan Inovasi Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

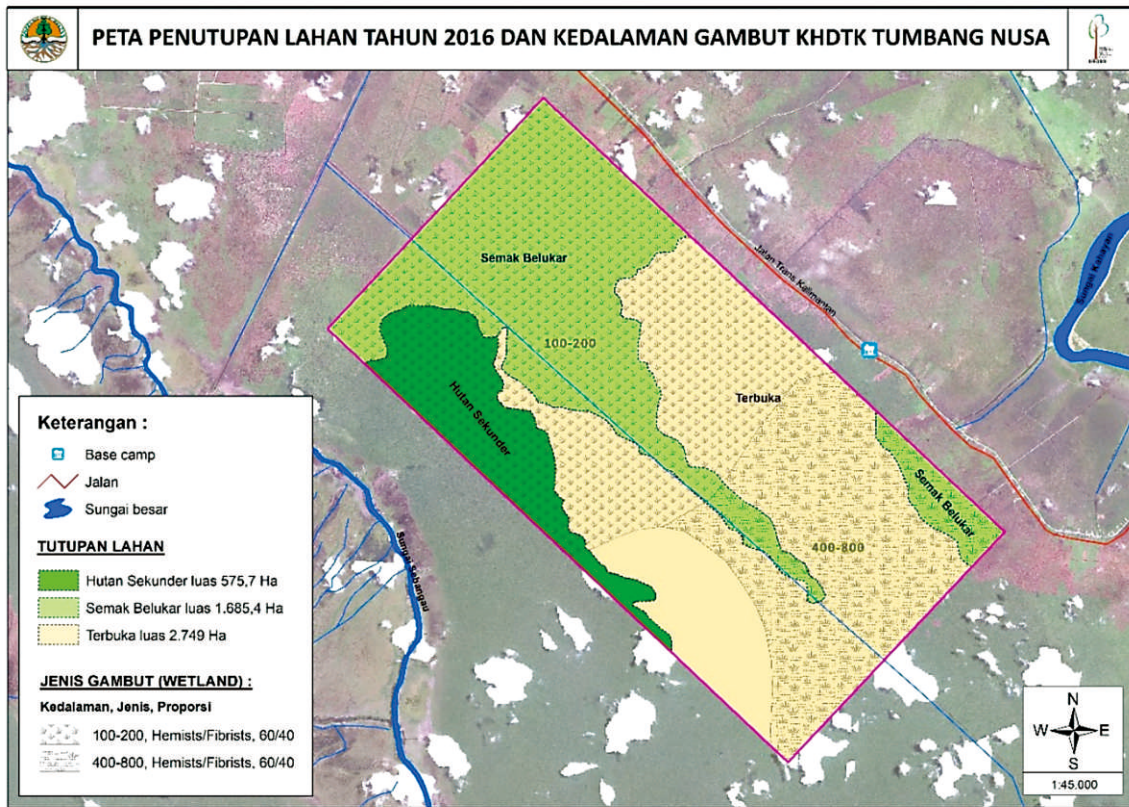
Banjarbaru yang berupa ekosistem rawa gambut. Secara administratif, KHDTK ini terletak di Desa Tumbang Nusa dan Tanjung Taruna, Kecamatan Jabiren Raya, Provinsi Kalimantan Tengah. Menurut klasifikasi iklim Schmidt dan Ferguson, KHDTK Tumbang Nusa termasuk Tipe A dengan suhu rata-rata 27°C (suhu minimum 23°C dan suhu maksimum 33°C), dan curah hujan tahunan sebesar 1.242 mm/tahun (Santosa et al. 2018). Tipologi tersebut antara lain hutan sekunder, semak belukar, dan lahan kosong dengan beberapa variasi kedalaman (Gambar 1).

Pengumpulan dan analisis data

Gudang karbon yang diukur antara lain vegetasi pohon dengan permudaannya, serasah, nekromasa, dan bahan organik tanah. Metode pengukuran, definisi, dan ukuran plot masing-masing gudang karbon disajikan pada Tabel 1.

Pada gudang karbon vegetasi, pendugaan biomasa pohon menggunakan model alometrik yang telah disusun pada hutan rawa gambut. Model-model alometrik yang telah tersedia antara lain untuk jenis mangium (*Acacia mangium* Willd) (Qiom 2011), nyatoh (*Palaquium cochleria* HJL), alau (*Dacrydium pectinatum* de Laub.), bintangur (*Calophyllum soulattri* Burm F.), keruing (*Dipterocarpus kerii* King), resak (*Cotylelobium burckii* Heim), meranti rawa (*Shorea teysmaniana* Dyer) (Akbar et al. 2012; Qiom et al. 2012) (Tabel 2). Pada jenis-jenis yang belum tersedia persamaan alometrik dan kandungan karbonnya, persamaan alometrik mengikuti persamaan Brown (1997), dan besarnya simpanan karbon menggunakan faktor konversi sebesar 50%.

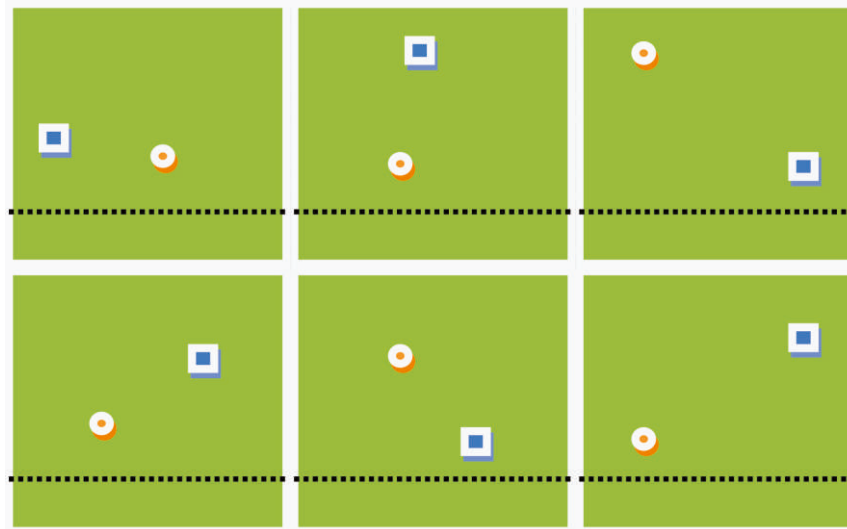
Plot pengukuran dibuat sesuai dengan ukuran masing-masing gudang karbon (Tabel 1). Plot dibuat sebanyak 18 buah pada 3 tipologi gambut. Pertimbangan utama dalam pembuatan plot, yakni keterwakilan masing-masing tipologi gambut, jenis, dimensi, dan kerapatan tegakan. Peletakan plot tersebar pada masing-masing tipologi gambut (Gambar 2).



Gambar 1. Peta KHDTK Tumbang Nusa dengan beberapa tipologi dan kedalaman gambut
Figure 1. Map of Tumbang Nusa Forest for Specific Purpose in several typologies and peat depth

Tabel 1. Definisi, kategori, metode pengukuran, dan ukuran plot masing-masing gudang karbon.
Table 1. Definition, category, measurement method, and plot size of each carbon pools

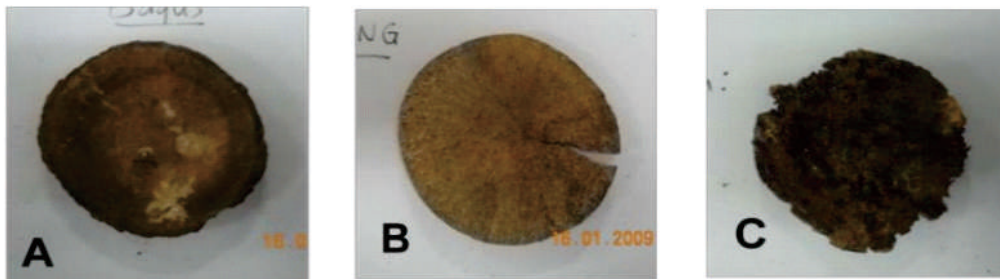
Gudang karbon	Kategori	Metode pengukuran	Ukuran plot
Vegetasi (pohon dengan permudaannya)	Pengukuran tingkat pohon (diameter > 20 cm), tiang (diameter 10-19) dan pancang dengan tinggi > 1,5 m	Pengukuran tidak langsung	Pohon : 20 m x 20 m; tiang : 10 m x 10 m; dan pancang : 2 m x 2 m
Serasah	Ukuran lebih besar dari bahan organik tanah (ukuran minimum 2 mm) : IPCC, 2006) dan kayu mati dengan ukuran < 2,5 cm dengan tinggi < 1 m (Zhang et al. 2012) yang telah mengalami proses dekomposisi di permukaan atau menjadi mineral organik tanah.	Pengukuran langsung	2 m x 2 m
Tumbuhan bawah	Semai dan semua jenis tumbuhan dengan tinggi < 1,5 m	Pengukuran langsung	2 m x 2 m
Nekromasa	Kayu mati dan pohon mati, ukuran = 2,5 cm (Zhang et al. 2012) dengan kategori berdasarkan kelas pelapukan (Gambar 3) dan pohon mati yang dibedakan dalam beberapa kategori (Gambar 4)	Pengukuran langsung untuk kayu mati dan pengukuran tidak langsung untuk pohon mati.	5 m x 20 m
Tanah/bahan organik	Karbon organik dalam mineral tanah sampai pada kedalaman tertentu dan mempunyai sifat yang konsisten pada rentang waktu tertentu serta termasuk akar yang hidup dan mati dalam tanah yang tidak dapat dibedakan dari bahan organik tanah.	Pengukuran langsung	Ukuran mata bor eijkelkamp panjang 51 cm dan diameter 5,5 cm



Keterangan :
■ : Plot pengukuran gudang karbon pohon (vegetasi)
■ : Plot pengukuran gudang karbon tumbuhan bawah, semai, dan serasah
● : Plot pengukuran gudang karbon tanah

Gambar 2. Ilustrasi ukuran, pembuatan, dan peletakan plot pengukuran pada masing-masing gudang karbon yang tersebar pada beberapa tipologi gambut.

Figure 2. Illustration of size, development and design of measurement plot at each carbon pools at some peat typologies



Gambar 3. Kategori kayu mati dengan beberapa kategori pelapukan: A) pelapukan rendah; B) pelapukan sedang; C) tingkat pelapukan lanjut (Manuri et al. 2011).

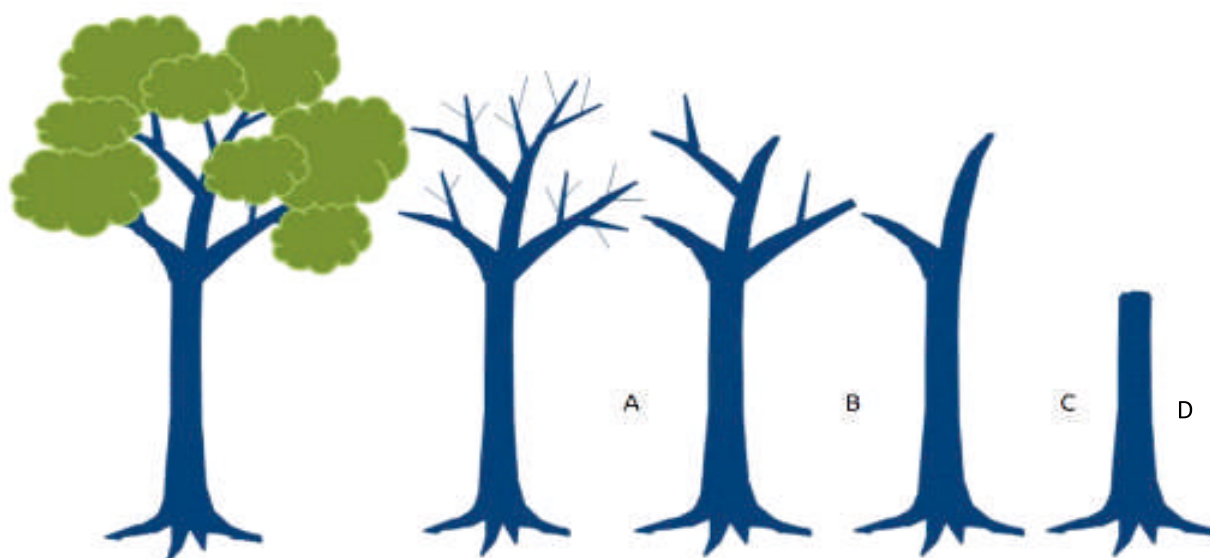
Figure 3. Deadwood in several decaying categories : A) low decaying; B) medium decaying; C) highly decayed) (Manuri et al. 2011).

Pada gudang karbon serasah, nekromasa dan tanah, kandungan karbon, dan kadar air ditentukan dari sampel yang diambil di lapangan. Berat sampel di lapangan sebanyak ± 200 gr dari berat basah. Sampel tersebut dioven selama 72 jam (Fonseca et al. 2011) pada suhu 70°C sampai mencapai berat konstan. Penentuan berat kering sampel ditentukan dengan rumus (Haygreen & Bowyer 1993):

$$KA_c (\%) = \frac{BB_c - BKT_c}{BKT_c} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

$$BKT = \frac{BB}{1 + \left(\frac{\%KA_c}{100} \right)} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan : BB : berat basah total (kg); BKT : berat kering total (kg); KA_c : kadar air sampel; BB_c : berat basah sampel (g); BK_c: berat kering sampel (g).



Gambar 4. Kategori pohon mati berdasarkan pertimbangan simpanan karbon : A tersisa 90%; B tersisa 80%; C tersisa 70% dan D : bervariasi (Manuri et al. 2011).

Figure 4. Deadwood categories according to carbon store: A, B, C : 90%, 80%, 70%, and D : varied (Manuri et al. 2011).

Tabel 2. Persamaan alometrik penduga biomassa beberapa jenis tumbuhan
Table 2. Allometric equation of biomass on several tree species

No	Jenis tanaman	Model alometrik	Sumber
1.	<i>A. mangium</i> Willd	$\ln B = -3,14 + 2,84 \ln \text{DBH}$	Qirom (2011)
2.	Nyatoh (<i>P.cochlearia</i> H.J.L)	$\ln \text{AGB} = -2,02 + 2,50 \ln D$	Akbar et al. (2012); Qirom et al. (2012)
3.	Alau (<i>D. Pectinatum</i> de Laub)	$\ln \text{AGB} = -2,13 + 2,55 \ln D$	
4.	Bintangur (<i>C. Soulattri</i> Burm, F.)	$\ln \text{AGB} = -1,85 + 2,50 \ln D$	
5.	Dipterocarpacea	$\ln \text{AGB} = -1,71 + 2,42 \ln D$	
6.	Keruing (<i>D. kerii</i> King)	$\ln \text{AGB} = -1,69 + 2,41 \ln D$	
7.	Resak (<i>C. burckii</i> Heim)	$\ln \text{AGB} = -1,33 + 2,34 \ln D$	
8.	Meranti Rawa (<i>S.teysmaniana</i> Dyer)	$\ln \text{AGB} = -2,12 + 2,53 \ln D$	
9.	Pohon-pohon bercabang	$B = 0,11 \rho (\text{DBH})^{2,62}$	
10.	Persamaan umum	$B = 0,19 (\text{DBH})^{2,37}$	Brown (1997)

Keterangan : B : biomassa pohon di atas permukaan tanah (kg); DBH: diameter setinggi dada (cm); H : tinggi pohon total (m); ρ : berat jenis kayu (kg/m³)

Remarks : B: aboveground biomass: (kg); DBH: diameter breast height (cm); H : tree height (m); ρ : Specific gravity (kg/m³)

Pada gudang karbon nekromasa, kayu mati dikategorikan menjadi 3 kategori yakni: a) kayu mati dengan tingkat pelapukan rendah; b) kayu mati dengan tingkat pelapukan sedang dan c) kayu mati dengan tingkat pelapukan melapuk (Manuri et al. 2011) (Gambar 3). Pohon mati dibedakan berdasarkan tingkat keutuhan pohon (Gambar 4). Hal ini disebabkan jumlah simpanan karbon dipengaruhi oleh tingkat keutuhan pohon mati (Manuri et al. 2011)

Diameter dan panjang nekromasa serta kategori masing-masing nekromasa diukur di lapangan.

Pengukuran diameter dilakukan dua kali yakni diameter ujung dan pangkal dari nekromasa untuk masing-masing nekromas yang ditemukan. Perhitungan simpanan karbon nekromasa yang dikembangkan Hairiah et al. (2001) sebagai berikut:

$$B = \left(\frac{\tau}{40} \right) \rho H \left(\frac{D_u + D_p}{2} \right)^2 \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan : B: biomassa (kg); H : tinggi pohon (m); D_u, D_p: diameter ujung dan pangkal (cm); ρ : berat jenis kayu (kg/m³)

Pengukuran karbon tanah dilakukan di luar plot pengukuran serasah dan semai. Sampel tanah gambut diambil menggunakan bor gambut tipe eijkelkamp pada kedalaman gambut sebagai berikut : 0-50 cm, 50-100 cm; 100-150 cm; 150-200 cm, 200-250 cm, 250-300 cm, 300-350 cm, 350-400 cm, 400-450 cm, dan 450-500 cm. Pengambilan sampel tergantung dari kedalaman gambut sebanyak enam plot pada masing-masing tipologi. Tanah diambil dan ditimbang untuk mengetahui berat basahnya. Analisis kadar air dan kandungan karbon tanah dilakukan dengan mengambil sampel tanah seberat 50 g. Analisis ini digunakan untuk mengetahui bobot isi (*bulk density: BD*) dan kandungan karbon. BD dirumuskan sebagai berikut (Manuri et al. 2011):

$$BD = \frac{W}{V} ; W = \frac{W_1}{W_2} \times W_3 ; V = 0,25\pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 H \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan : BD : bobot isi tanah (g/cm³); W : total berat kering contoh tanah/tanah kering oven (g); V: volume bor gambut (cm³); W₁ : berat basah total tanah (g); W₂ : berat basah sub contoh tanah (g); W₃ : berat kering sub contoh tanah (g); D: diameter mata bor gambut (cm); H : tinggi mata bor gambut (cm)

Simpanan karbon tanah dihitung menggunakan rumus yang dikembangkan Manuri et al. (2011)

$$CT = A \times D \times BD \times C \dots\dots\dots (5)$$

Dimana : CT : simpanan karbon tanah (Mg); A: luas plot (m²); D : kedalaman contoh tanah (cm) BD : berat isi tanah (kg/m³); C : kandungan karbon : hasil analisis laboratorium (%).

Konsentrasi C (kandungan karbon) tersebut ditentukan dari proses pengabuan (Eviati & Sulaeman 2009). Potensi simpanan karbon total pada masing-masing tipologi gambut merupakan penjumlahan antara simpanan karbon pohon (tingkat semai, pancang, tiang, dan pohon), nekromasa, serasah, tumbuhan bawah dan bahan organik tanah.

Data pengukuran kandungan karbon pada masing-masing tipologi dan kedalaman tanah gambut dianalisis uji beda nyata (BNT) dengan menggunakan

SPSS. Analisis tersebut untuk mengetahui pengaruh tipologi dan kedalaman tanah gambut terhadap kandungan karbon.

Hasil dan Pembahasan

Untuk beberapa gudang karbon (*carbon pool*), kandungan karbon dapat bervariasi (Gambar 5). Hasil penelitian ini mendapatkan rata-rata kandungan karbon lebih dari 50% (Gambar 6). Secara umum, kandungan karbon pada beberapa gudang karbon di 3 tipologi lahan gambut tidak jauh berbeda. Hal ini berdasarkan hasil uji beda nilai tengah antar nekromasa, tumbuhan bawah dan tanah tidak berbeda nyata antartipologi gambut (Tabel 3).

Pada gudang karbon (*carbon pools*) tanah, kandungan karbon ditentukan oleh masing-masing kedalaman gambut. Pada keseluruhan tipologi gambut, kandungan karbon mempunyai kecenderungan menurun pada gambut yang lebih dalam (Gambar 7). Hal ini berdasarkan hasil analisis sidik ragam menunjukkan kandungan karbon berbeda nyata pada setiap kedalaman gambut ($F_{hitung (0,025,8,119)} = 109,39$ dengan $P_{value} = 0,00$). Namun demikian, secara keseluruhan tipologi gambut tidak berpengaruh terhadap besarnya kandungan karbon pada keseluruhan *carbon pools* (gudang karbon) yang diukur (hasil analisis sidik ragam sebesar $F_{(0,025,2,125)} = 0,083$ dengan $P_{value} = 0,921$ dan $F_{tabel} = 3,80$).

Besarnya kandungan karbon hasil penelitian lebih besar dari beberapa hasil penelitian di lahan kering untuk keseluruhan gudang karbon (nekromasa, tumbuhan bawah, serasah, dan tanah) pada tipologi tanah mineral (Qirom 2011; Qirom et al. 2015; Zhang et al. 2013), meskipun kandungan karbon tersebut masih mendekati 50% kecuali pada gudang karbon tanah. Perbedaan tersebut terutama pada kandungan karbon pada gudang karbon tanah. Pada gudang karbon tanah, kandungan karbon tersebut kurang dari 10% baik pada hutan tanaman (Siringoringo 2013) dan hutan sekunder di Kalimantan (Qirom et al. 2015).

Pada tanah gambut, kandungan karbon yang didapatkan dari hasil penelitian ini tidak jauh berbeda dari beberapa hasil penelitian yang dilakukan pada beberapa lahan gambut di Indonesia. Hasil studi Prayitno et al. (2013) menunjukkan kandungan karbon pada tanah gambut di Sumatera Selatan berkisar antara 56,30 sampai dengan 58,31%. Besarnya kandungan karbon tersebut juga didukung oleh hasil penelitian Nurzakiah (2014). Studi Nurzakiah (2014) ini dilakukan pada beberapa kedalaman gambut di Kalimantan Tengah. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa kandungan karbon terbesar pada kedalaman gambut antara 0-109 cm sebesar 54,51% dan mengalami penurunan sebesar 10% pada kedalaman gambut antara 109 – 300 cm (Nurzakiah 2014). Hasil penelitian Nurzakiah (2014) mendukung hasil penelitian yang menunjukkan besarnya kandungan karbon cenderung mengalami penurunan pada tanah gambut yang lebih dalam. Beberapa studi yang telah dilakukan besarnya kandungan karbon tanah sangat dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain: tipe hutan (He et al. 2013; Zhang et al. 2013); kondisi lahan (Wauters et al. 2008), umur tanaman di atasnya (Amichev et al. 2008; Siringoringo 2013), kedalaman tanah baik gambut (Dariah et al. 2012; Nurzakiah 2014; Prayitno et al. 2013) atau mineral (Djomo et al. 2011)

Besarnya kandungan karbon pada gudang karbon yang lain mempunyai konsentrasi yang hampir sama dengan penelitian di lahan gambut yang lain. Hal ini seperti hasil penelitian Dharmawan (2013) yang

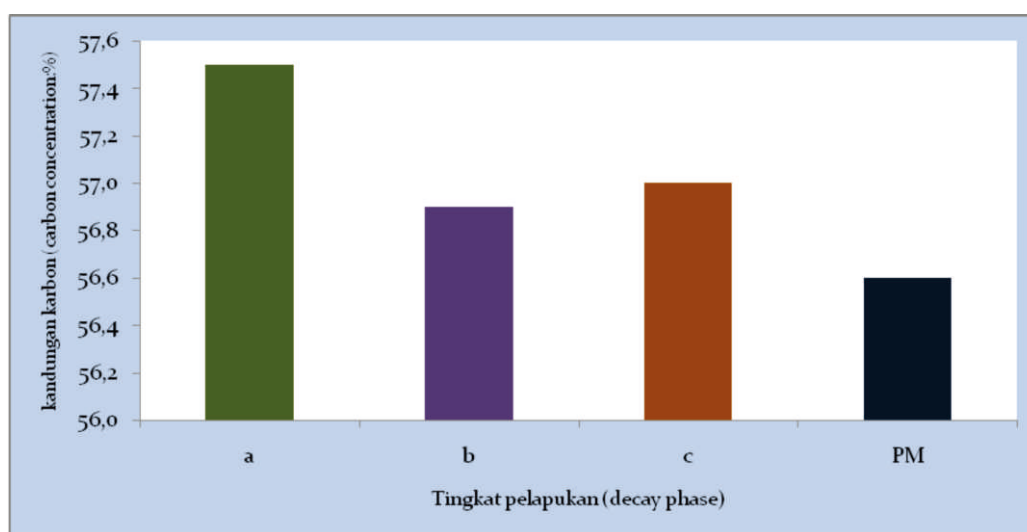
dilakukan di Kalimantan Tengah. Dharmawan (2013) mendapatkan kandungan karbon sebesar 45,29% yang dilakukan pada beberapa tipologi lahan gambut di Kalimantan Tengah yakni hutan gambut dengan gangguan kebakaran setiap tahun, areal hutan gambut setelah kebakaran 8 tahun dan areal hutan gambut setelah 3 tahun kebakaran. Kandungan karbon ini hampir sama dengan tanah gambut di Malaysia sebesar 45,7%. Kandungan karbon tersebut didapatkan pada tiga tipe penggunaan lahan yakni hutan, sagu, dan kelapa sawit (Melling et al. 2005). Besarnya kandungan karbon tersebut digunakan sebagai faktor konversi untuk menentukan simpanan karbon dari pengukuran biomassa. Implikasinya yakni faktor konversi (kandungan karbon) dari berat kering menjadi potensi karbon tidak dapat menggunakan faktor konversi yang umum seperti 0,5 (Brown 1997) atau 0,47 (Hairiah et al. 2001). Penggunaan faktor konversi yang tidak tepat menyebabkan hasil dugaan potensi simpanan karbon menjadi *overestimate*.

Potensi simpanan karbon mencapai lebih dari 3.000 Mg/ha (Tabel 4). Potensi simpanan karbon tersebut lebih kecil dari penelitian (Dariah et al. 2012) yang dilakukan di Kalimantan Tengah dengan kedalaman gambut antara 500 – 698 cm. Hasil penelitian tersebut, simpanan karbon sebesar 3.335 – 4.407 ton/ha. Besarnya simpanan karbon pada masing-masing gudang karbon sangat dipengaruhi tipologi gambut. Gudang karbon tumbuhan bawah yang besar pada tipologi semak belukar disebabkan oleh

Tabel 3. Hasil uji beda nilai tengah pada beberapa gudang karbon di tiga tipologi gambut
Table 3. t-test result of carbon content in several carbon pools at three peat typologies

Tipologi gambut	Nekromasa			Serasah			Tumbuhan bawah			Tanah		
	SB	HS > 3	HS > 4	SB	HS > 3	HS > 4	SB	HS > 3	HS > 4	SB	HS > 3	HS > 4
SB	-	0,779	0,222	-	-1,165	-3,946*	-	-1,767	-0,645	-	-0,561	-2,463
HS > 3	-0,779	-	-0,577	1,165	-	-4,086*	1,767	-	0,561	0,561	-	-1,531
HS > 4	-0,222	0,577	-	3,946*	4,086*	-	0,645	-0,561	-	2,463	1,531	-

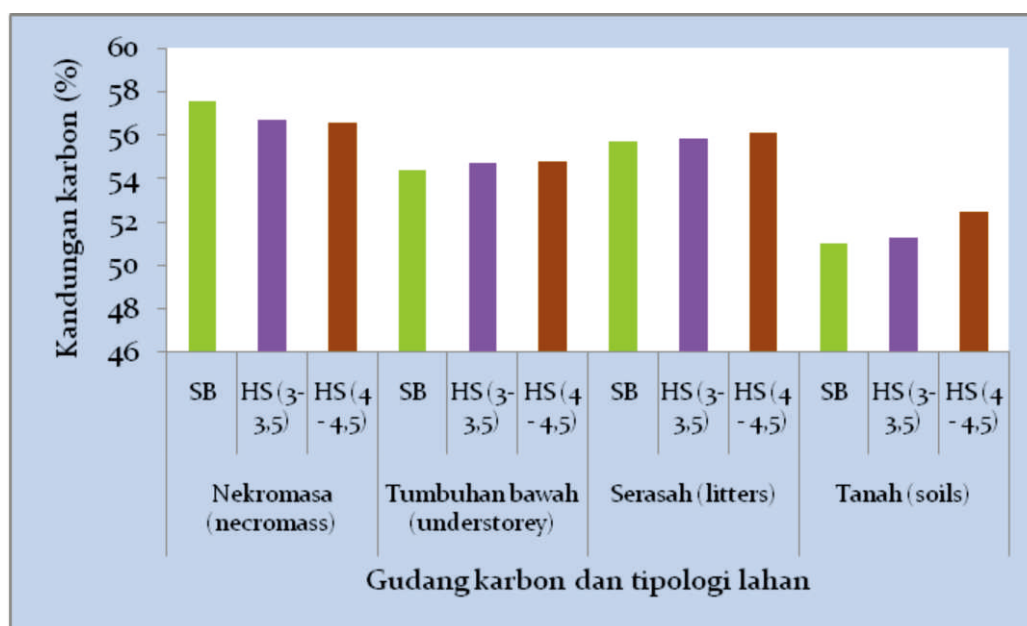
Keterangan: SB : Tipologi semak belukar dengan kedalaman gambut antara 3-3,5 m; HS > 3 : tipologi hutan sekunder dengan kedalaman gambut antara 3-3,5 m; HS>4: tipologi hutan sekunder dengan kedalaman gambut antara 4-5 m.
 Remarks : SB : Shrub typology with peat depth between 3-3.5 m ; HS > 3 : Secondary forest typology with peat depth between 3-3.5 m); HS > 4 : Secondary forest typology with peat depth between 4-5 m



Keterangan: a,b, c : kategori kayu mati (Manuri et al. (2001); PM : pohon mati

Gambar 5. Kandungan karbon pada beberapa kategori kayu mati (tingkat pelapukan)

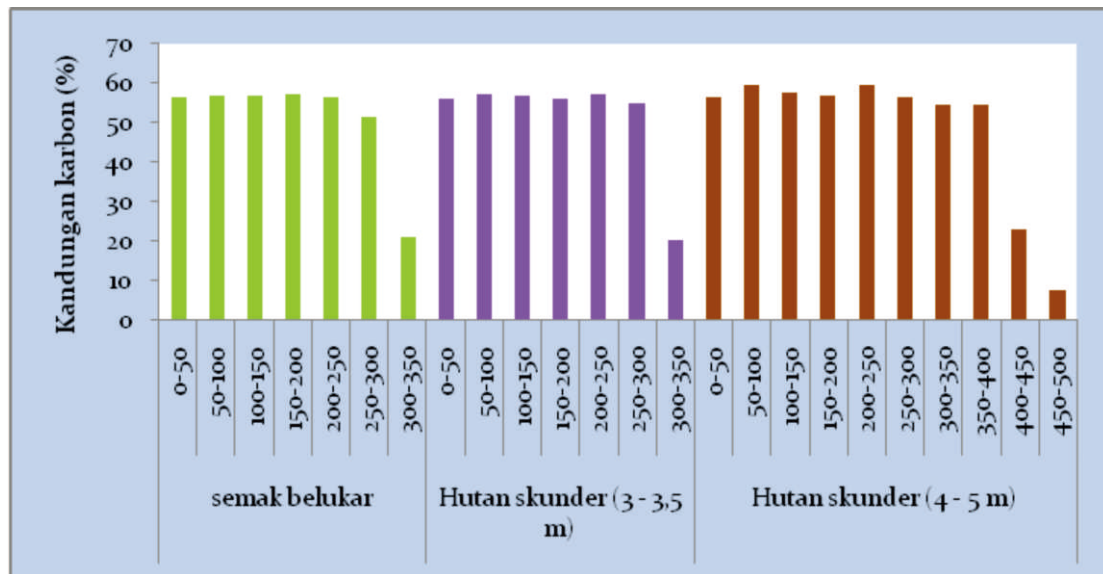
Figure 5. Carbon content in several decaying phases



Keterangan: SB, HS (3-3,5) : semak belukar; hutan skunder (*secondary forest*) dengan kedalaman gambut 3-3,5 m; HS (4-5) : hutan skunder dengan kedalaman gambut antara 4-5 m

Gambar 6. Kandungan karbon pada gudang karbon tumbuhan bawah, serasah, dan tanah pada beberapa tipologi gambut.

Figure 6. Carbon content of understorey, litter, and soils in several peat typologies.



Gambar 7. Kandungan karbon pada gudang karbon tanah dengan beberapa kedalaman gambut
Figure 7. Carbon content on soil pools in several peat depth

kerapatan liana dan tumbuhan bawah, pakis-pakisan yang besar. Kehadiran dan kerapatan jenis tumbuhan bawah dipengaruhi oleh terbukanya areal pada tipologi tersebut, sehingga cahaya mampu mencapai lantai hutan secara langsung. Kondisi ini mendorong jenis-jenis pioner tumbuh dan berkembang secara optimal. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian bahwa kerapatan vegetasi pada tingkat tiang dan pohon sangat rendah dengan komposisi jenis yang seragam sedangkan pada hutan sekunder, kerapatan yang tinggi, dan komposisi jenis lebih beragam pada tingkat pancang, tiang, dan pohon (Tabel 5).

Pada gudang karbon serasah dan nekromasa, simpanan karbon terbesar terdapat pada tipologi semak belukar. Kondisi ini disebabkan banyaknya sisa-sisa kebakaran ataupun bekas tebangan, sehingga nekromasa masih terkumpul pada lantai hutan. Namun demikian, potensi simpanan karbon pada tipologi semak belukar lebih rendah dibandingkan kedua tipologi yang lain. Hal ini disebabkan proporsi ketiga gudang karbon (nekromasa, serasah, dan tumbuhan bawah) kurang dari 1% dari potensi simpanan karbon total.

Simpanan karbon terbesar di seluruh tipologi gambut yaitu pada gudang karbon tanah. Karbon tanah menyumbang lebih dari 95% dari simpanan karbon total (Gambar 8). Besarnya simpanan karbon tanah dipengaruhi oleh kedalaman gambut pada masing-masing tipologi gambut. Namun demikian, kedalaman gambut tidak berpengaruh secara mutlak terhadap besarnya simpanan karbon tanah. Kondisi ini terjadi pada tipologi hutan sekunder dengan kedalaman gambut 4-5 m dimana simpanan karbon tanah lebih kecil dari simpanan karbon tanah pada tipologi hutan sekunder dengan kedalaman gambut antara 3-3,5 m. Faktor lain yang berpengaruh terhadap besarnya simpanan karbon tersebut yakni porositas, berat jenis tanah, dan kadar air tanah (Dariah et al. 2012; Prayitno et al. 2013; Qirom et al. 2013). Hal ini ditunjukkan oleh berat basah tanah yang besar pada tipologi hutan sekunder dengan kedalaman gambut antara 4-5 m namun berat keringnya lebih kecil dibandingkan dengan tipologi hutan sekunder dengan kedalaman gambut antara 3-3,5 m. Kondisi ini disebabkan oleh kadar air pada tipologi hutan sekunder dengan kedalaman gambut antara 4-5 m

Tabel 4. Potensi simpanan karbon pada beberapa gudang karbon di 3 tipologi gambut
Table 4. Carbon stock potentials at several carbon pools in 3 peat typologies

Tipologi	Plot	Serasah (Mg/ha)	T. bawah (Mg/ha)	Tanah (Mg/ha)	Nekromas (Mg/ha)	Pohon (Mg/ha)	Total (Mg/ha)
Semak belukar (kedalaman gambut 3-3,5 m)	1	4,05	2,58	1921,69	0,27	0,85	1929,45
	2	6,37	2,72	2980,18	1,54	13,75	3004,56
	3	6,30	5,49	2107,01	0,22	6,09	2125,10
	4	4,76	2,57	2021,47	0,01	10,77	2039,59
	5	12,37	4,35	2216,71	0,23	11,23	2244,88
	6	3,91	2,61	2105,43	0,25	5,17	2117,38
Rataan		6,29	3,39	2225,42	0,42	7,98	2243,49
Simpangan		3,16	1,24	382,63	0,56	4,77	387,13
Hutan sekunder (kedalaman gambut 3-3,5 m)	1	10,23	0,31	2990,17	0,01	155,79	3156,51
	2	6,57	0,10	4845,20	0,01	123,35	4975,22
	3	4,94	0,62	5159,83	0,01	118,72	5284,13
	4	3,38	1,49	2704,10	0,01	96,20	2805,17
	5	5,66	0,27	2559,45	0,04	158,81	2724,23
	6	3,76	1,98	3203,45	0,03	178,03	3387,24
Rataan		5,76	0,79	3577,03	0,02	138,48	3722,08
Simpangan		2,49	0,76	1130,93	0,01	30,61	1120,60
Hutan sekunder (kedalaman gambut 4-5 m)	1	5,08	0,18	3467,59	0,07	108,09	3581,01
	2	3,61	0,52	3189,35	0,04	45,40	3238,92
	3	3,99	0,52	2874,95	0,17	79,53	2959,15
	4	3,65	0,37	2776,65	0,06	154,81	2935,53
	5	5,42	0,46	3430,18	0,05	169,72	3605,83
	6	5,77	0,55	3085,38	0,02	187,70	3279,42
Rataan		4,59	0,43	3137,35	0,07	124,21	3266,64
Simpangan		0,95	0,14	282,55	0,05	55,69	289,48

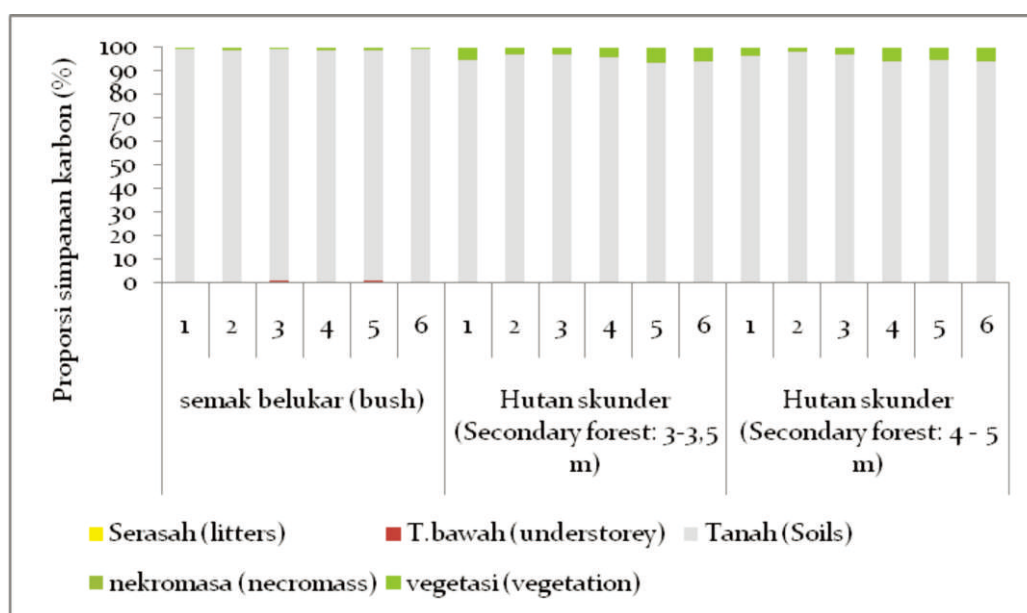
Tabel 5. Kerapatan dan komposisi jenis pada beberapa tipologi gambut
Table 5. The density and species composition in three peat typologies

Tipologi	Tingkat permudaan	Jumlah jenis	Jenis dominan	Kerapatan (ind/ha)
Semak belukar (kedalaman gambut 3-3,5 m)	Semai	4	Terentang (<i>Camptosperma coriaceum</i> (Jack) Hallier F)	2.400
	Pancang	11	Merapat (<i>Combretocarpus rotundotus</i>)	12.083,3
	Tiang	2	Merapat (<i>Combretocarpus rotundotus</i>)	400
	Pohon	-		
Hutan sekunder (kedalaman gambut 3-3,5 m)	Semai	13	Pintik (<i>Xylopiya aromatica</i>)	17.500
	Pancang	20	Jambu-jambu (<i>Eugenia</i> sp.)	3.066,7
	Tiang	15	Mendarah (<i>Horsfieldia crassifolia</i> (Hook.F. & Thomson) Warb	1.200
	Pohon	10	Gerunggang (<i>Cratoxylon arborescens</i> (Vahl) Blume)	133,3
Hutan sekunder (kedalaman gambut 4-5 m)	Semai	15	Pampaning (<i>Lithocarpus</i> sp.)	32.500
	Pancang	25	Pintik (<i>Xylopiya aromatica</i>)	3933,3
	Tiang	21	Pampaning (<i>Lithocarpus</i> sp.)	1.033
	Pohon	19	Meranti Bunga (<i>Shorea</i> sp.)	162,5

lebih besar dibandingkan dengan tipologi hutan sekunder dengan kedalaman gambut antara 3-3,5 m.

Besarnya potensi simpanan karbon tanah tersebut didukung oleh beberapa studi yang telah dilakukan di lahan gambut. Agus & Subiksa (2008) memperoleh potensi simpanan karbon antara 450 – 6200 ton/ha dengan proporsi simpanan karbon tanah sebesar 66,7% - 96,8%. Kecilnya proporsi tanah

tersebut karena pengukuran dilakukan pada kedalaman gambut yang dangkal (kedalaman < 1 m). Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Nurzakiah (2014) yang mendapatkan besarnya simpanan karbon pada lapisan 0-109 cm sebesar 658,68 ton/ha dan meningkat sebesar 1335,68 ton/ha pada lapisan antara 109 – 300 cm. Pada lokasi yang berbeda, simpanan karbon tanah mencapai 1.241 – 2098 ton/ha (kedalaman gambut



Gambar 8. Fraksi simpanan karbon pada lima gudang karbon di tiga tipologi gambut
Figure 8. Carbon stock fraction on five carbon pools in three peat typologies

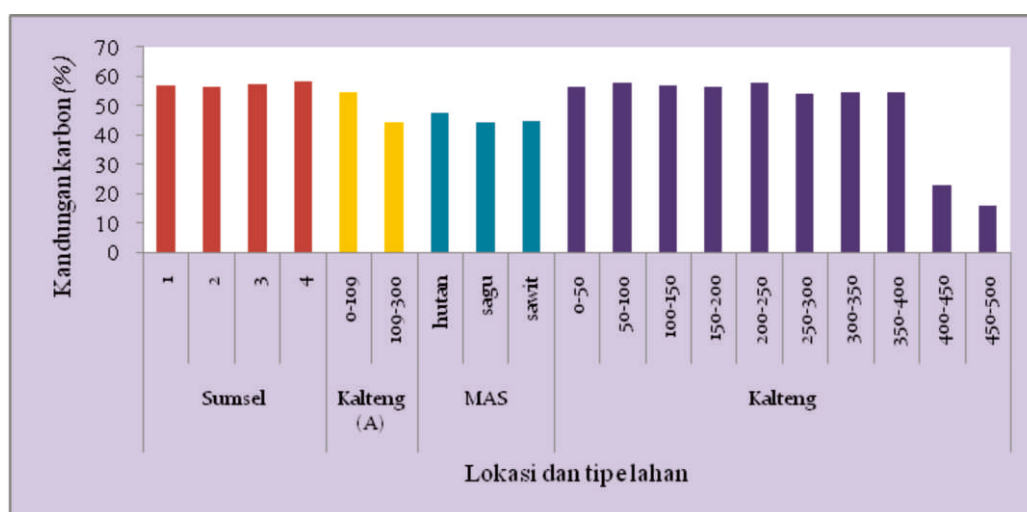
antara 155 – 316 cm) di Sumatera Selatan; di Kalimantan Selatan dengan kedalaman gambut 36 cm – 338 sebesar 183 – 1.142 ton/ha; dan potensi sebesar 2257-42191 dengan kedalaman gambut 550 – 647 cm di Riau (Dariah et al., 2012).

Pada gudang karbon di atas permukaan tanah di lahan gambut, beberapa penelitian menunjukkan simpanan karbon tersebut sangat bervariasi (Gunawan et al. 2016; Nurzakiah et al. 2017). Nurzakiah et al. (2017) menyatakan bahwa potensi simpanan karbon tersebut dipengaruhi oleh jenis, kerapatan vegetasi, dimensi dan umur tanaman, dan tindakan/ manajemen pengelolaan. Hal ini berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada beberapa tipologi gambut pada areal budidaya di Kalimantan Tengah. Pada tanaman karet yang tidak dirawat simpanan karbon mencapai 10,76 ton/ha dan sebesar 34,6 ton/ha pada tanaman karet berumur 7-8 tahun. Simpanan karbon terbesar pada lokasi ini terdapat pada vegetasi tanaman karet sebesar 24,81 ton/ha atau 71,7% terhadap simpanan karbon totalnya (Nurzakiah et al. 2017). Hasil studi Jaya et al. (2007) di lahan Gambut

Kalimantan menunjukkan potensi simpanan karbon mencapai 268,18 ton/ha atau biomassa sebesar 583 ton/ha untuk gudang karbon di atas permukaan tanah. Potensi simpanan karbon ini lebih besar dibandingkan dengan hasil penelitian ini yakni 18,01 ton/ha – 145,1 ton/ha.

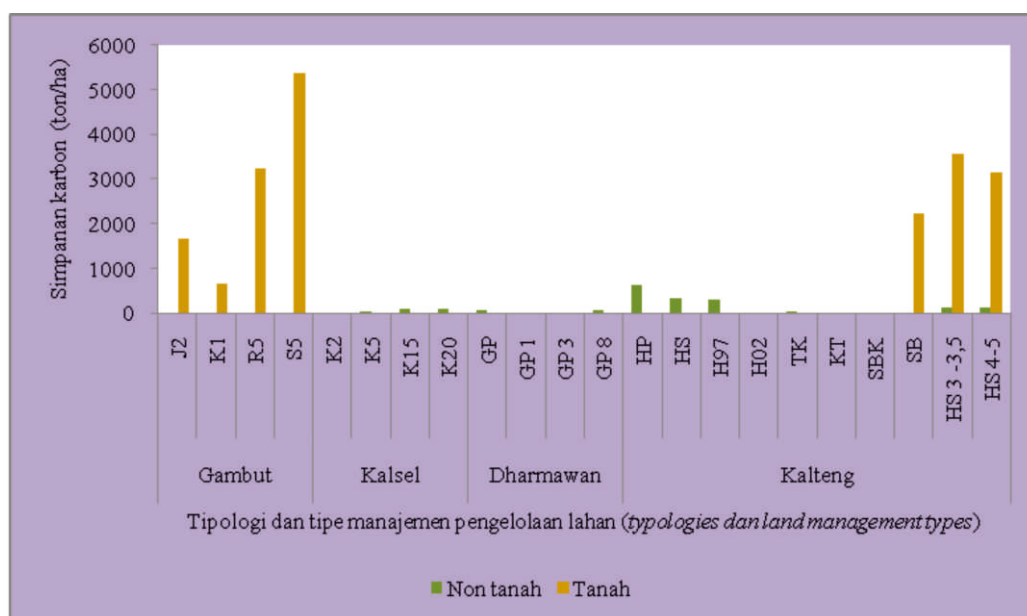
Dari beberapa penelitian tersebut, besarnya simpanan karbon sangat berbeda-beda. Perbedaan simpanan karbon dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain tipe hutan (hutan lahan gambut, bakau dan kering) (Dharmawan 2013; Krisnawati et al. 2015; Qirom et al. 2015; Qirom et al. 2013; Siringoringo 2013), aspek pengelolaan seperti terkelola dan tidak terkelola (Nurzakiah et al. 2017), hutan tanaman (Siringoringo 2013; Zhang et al. 2012), areal reklamasi tambang (Amichev et al. 2008) dan aspek gangguan seperti kebakaran hutan dan lahan (Dharmawan 2013).

Besarnya potensi simpanan karbon pada lahan gambut sangat dipengaruhi oleh besarnya simpanan karbon pada gudang karbon tanah dan kandungan karbonnya (Gambar 9). Kandungan karbon yang besar berkontribusi terhadap besarnya simpanan karbon



Keterangan : Sumsel 1,2,3,4 : Sumatera Selatan ulangan 1,2,3, 4 (Prayitno et al. 2013); Kalteng 0-109, 109-300: Kalimantan Tengah dengan kedalaman 0-109 cm dan 109-300 cm (Nurzakiah, 2014); MAS: hutan rawa gambut di Malaysia, hutan: sagu, sawit: kelapa sawit (Melling et al. 2005) Kalteng : hasil penelitian

Gambar 9. Kandungan karbon tanah pada beberapa lokasi dan tipe lahan
Figure 9. Soils carbon content on several sites



Keterangan :J2: Jambi dengan kedalaman 1,5 -3 m, K1: Kalimantan Selatan dengan kedalaman 0,3 -3,3 m, R5: Riau dengan kedalaman 5,5 -6,5 m (Dariah et al. 2012) S5: Sumatera Selatan dengan kedalaman 2 -8,5 m (Prayitno et al. 2013); K2, K5: tanaman karet umur 2-4 tahun dan 5 -7 tahun (Nurzakiah et al. 2017); K15, K20: karet umur 15 dan 20 tahun: HGP : Hutan gambut primer; GP 1, 2, 3 : Hutan gambut terbakar setiap tahun, 3 tahun setelah terbakar dan 8 tahun setelah terbakar (Dharmawan 2013); HP: Hutan gambut primer, HS: hutan bekas tebangan, H97: bekas kebakaran 1997, H02: bekas kebakaran tahun 1997 dan 2002 (Jaya et al. 2007) TK, KT, SBK: karet tidak terawat, karet tidak terawat, dan semak belukar (Nurzakiah et al. 2017) B : Tipologi semak belukar dengan kedalaman gambut 3-3,5 m; HS 3-3,5 : Hutan gambut sekunder dengan kedalaman gambut antara 3-3,5 m; HS 4-5 : Hutan gambut sekunder dengan kedalaman gambut antara 4-5 m.

Gambar 10. Simpanan karbon di beberapa tipologi dan ragam pengelolaan lahan.
Figure 10. Carbon stock potentials on several typologies and variation of land management.

tanah gambut. Besarnya kandungan karbon tanah gambut secara langsung menyumbang simpanan karbon total. Pada beberapa tipe hutan dan bentuk pengelolaan, gudang karbon serasah, nekromasa, pohon, dan tumbuhan bawah mempunyai simpanan karbon yang hampir sama (Gambar 10).

Berdasarkan potensi simpanan karbon tersebut, pendekatan pengelolaan hutan lahan gambut sangat berbeda jika dibandingkan dengan pengelolaan hutan di tanah mineral. Pada hutan tanah mineral (lahan kering) simpanan karbon terbesar pada biomassa permukaan (vegetasi) (Krisnawati et al. 2015; Qirom et al. 2015) sehingga pengelolaan pada tipe ini yakni menaikkan simpanan karbon dengan cara mempercepat pertumbuhan dari vegetasi-vegetasi penyusun tegakan. Strategi pengelolaan di lahan gambut yakni mempertahankan dan mengurangi emisi pada karbon tanah gambut. Pengurangan emisi tersebut melalui pencegahan terhadap kebakaran hutan gambut. Penelitian Page et al. (2002) di Kalimantan Tengah menunjukkan kebakaran hutan menyebabkan emisi sebesar 0,19 – 0,23 giga ton karbon yang berasal dari kebakaran tanah gambut dan emisi sebesar 0,05 giga ton dari vegetasi permukaan.

Kesimpulan

Kandungan karbon di lahan gambut sebesar lebih dari 50% berat kering pada keseluruhan gudang karbon. Kandungan karbon tersebut tidak dipengaruhi oleh tipologi gambut namun berpengaruh pada kandungan karbon serasah. Besarnya kandungan karbon dipengaruhi oleh kedalaman tanah gambut. Penggunaan faktor konversi yang tidak tepat menyebabkan hasil dugaan potensi simpanan karbon menjadi *overestimate*.

Simpanan karbon pada lahan gambut sangat dipengaruhi oleh simpanan karbon tanah. Gudang karbon tanah mempunyai fraksi karbon lebih dari 95% terhadap potensi simpanan karbon total, sehingga pengelolaan lahan gambut harus memperhatikan

gudang karbon tanah. Hal ini dilakukan untuk menghindari emisi karbon yang besar akibat kerusakan karbon tanah gambut akibat kebakaran atau dekomposisi tanah gambut.

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini dibiayai oleh kerjasama antara Pusat Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim dan Kebijakan dengan *Forest Carbon Partnership Facility (FCPF)* dengan Balai Penelitian dan Pengembangan Lingkungan Hidup dan Kehutanan Banjarbaru. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ir. Tjuk Sasmito Hadi, M.Sc. atas saran dan masukannya. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada teknisi litkayasa BPK. Banjarbaru (Eko Priyanto, S.Hut., Arif Susianto, Supriyadi, dan M. Effendy) atas bantuannya dalam pengambilan data di lapangan. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada pengelola KHDTK Tumbang Nusa, Kalimantan Tengah atas fasilitas dan bantuan selama melaksanakan kegiatan penelitian.

Daftar Pustaka

- Agus F, Hairiah K, Mulyani A. 2011. Pengukuran cadangan karbon tanah gambut. Petunjuk praktis. World Agroforestry Centre-ICRAF, SEA Regional Office dan Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian (BBSDLP), Bogor.
- Agus F, Subiksa IGM. 2008. Lahan gambut : Potensi untuk pertanian dan aspek lingkungan. Balai Penelitian Tanah dan World Agroforestry Centre (ICRAF). Balai Penelitian Tanah dan World Agroforestry Centre (ICRAF), Bogor. <http://www.worldagroforestry.org/sea/publications/files/book/BK0135-09.PDF>
- Akbar A, Alimah D, Suryanto E. 2012. Estimasi model penduga karbon hutan rawa gambut jenis non dipterocarpaceae. Banjarbaru.
- Amichev BY, Burger JA, Rodrigue JA. 2008. Carbon sequestration by forests and soils on mined land in the Midwestern and Appalachian coalfields of the U.S. *Forest Ecology and Management* 256(11):1949-1959. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.07.020>

- Badan Restorasi Gambut (BRG). 2011. Mengawali restorasi gambut Indonesia. Jakarta.
- Blackham GV, Webb EL, Corlett RT. 2014. Natural regeneration in a degraded tropical peatland, Central Kalimantan, Indonesia: Implications for forest restoration. *Forest Ecology and Management* 324:815.
- <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.03.041>Bonn A, et al. 2014. Investing in nature: Developing ecosystem service markets for peatland restoration. *Ecosystem Services* 9:54-65.
- <http://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.06.011>Brown S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: A primer. FAO Forestry Paper, 134(August), 55. <http://doi.org/ISBN92-5-103955-0>
- Dariah A, Susanti E, Agus F. 2012. Baseline survey: Cadangan karbon pada lahan gambut di lokasi demplot penelitian ICCTF (Riau, Jambi, Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan). Hlm. 445460 dalam Husen E, Anda M, Noor M, Maswar HS, Fahmi A, Sulaeman Y, editor. *Pengelolaan lahan gambut berkelanjutan*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Lahan Pertanian.
- Dharmawan I, Wayan S. 2013. Persamaan alometrik dan cadangan karbon vegetasi pada hutan gambut primer dan bekas terbakar. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam* 10(2):175-191.
- Djomo AN, Knohl A, Gravenhorst G. 2011. Estimations of total ecosystem carbon pools distribution and carbon biomass current annual increment of a moist tropical forest. *Forest Ecology and Management* 261(8):1448-1459. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.01.031>
- Sukaeman, Suparto, Eviati. 2009. Petunjuk teknis analisis kimia tanah, tanaman, air dan pupuk. Prasetyo BH, Santoso D, Widiyati LR, editor. Balai Penelitian Tanah, Bogor. <http://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Fonseca W, Rey Benayas JM, Alice FE. 2011. Carbon accumulation in the biomass and soil of different aged secondary forests in the humid tropics of Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 262(8): 1400-1408. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.06.036>
- Gunawan H, et al. 2016. Taksiran akumulasi biomassa atas permukaan pada eksperimen restorasi lahan gambut bekas terbakar, area transisi cagar biosfer Giam Siak Kecil-Bukit Batu, Riau, Sumatera Indonesia Pusat Studi Bencana Universitas Riau, Sumatera Center for Southeast Asia. *Jurnal Riau Biologia* 1(2):816.
- Hairiah K, Sitompul S, van Noordwijk M, Palm C. 2001. Methods for sampling carbon stocks above and below ground. International Centre for Research in Agroforestry, Bogor, Indonesia, ASB Lecture Note 4B. ICRAF Southeast Asia, Bogor.
- Haygreen JG, Bowyer JL. 1993. Forest product and wood science: An introduction. (Hasil hutan dan ilmu kayu: suatu pengantar (Terjemahan). Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- He Y, Qin L, Li Z, Liang X, Shao M, Tan L. 2013. Carbon storage capacity of monoculture and mixed-species plantations in subtropical China. *Forest Ecology and Management* 295:193-198. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.01.020>
- Hirano T, Kusin K, Limin S, Osaki M. 2014. Carbon dioxide emissions through oxidative peat decomposition on a burnt tropical peatland. *Global Change Biology* 20(2):555-565. <http://doi.org/10.1111/gcb.12296>
- Jaya A, Siregar UJ, Daryono H, Suhartana S. 2007. Biomassa hutan rawa gambut tropika pada berbagai kondisi penutupan lahan. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam* 4(4):341-352.
- Ketterings QM, Coe R, Van Noordwijk M, Ambagau Y, Palm CA. 2001. Reducing uncertain in the use of allometric biomass equation for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management* 146:199209.
- Krisnawati H, Adinugroho WC, Imanuddin R, Hutabarat S. 2015. Pendugaan emisi gas rumah kaca tahunan dari hutan dan lahan gambut di Kalimantan Tengah. (I). Dalam Siregar CA, et al., editor. *Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan*, Bogor.
- Manuri S, Putra CAS, Saputra AD. 2011. Teknik pendugaan cadangan karbon hutan. Merang REDD Pilot Project, German International Cooperation GIZ. Palembang. Merang REDD Pilot Project, German International Cooperation GIZ, Palembang.
- Melling L, Hatano R, Goh KJ. 2005. Soil CO₂ flux from three ecosystems in tropical peatland of Sarawak, Malaysia. *Tellus, Series B: Chemical and Physical Meteorology* 57(1):111. <http://doi.org/10.1111/j.1600-0889.2005.00129.x>
- Murdiyarso D, Hergoualch K, Basuki I, Sasmito SD, Hanggara B. 2017. Carbon stocks. p.2. Bogor.

- http://www.cifor.org/publications/pdf_files/flyer/6439-flyer.pdf
- Nurzakiah S. 2014. Prediksi potensi emisi karbon pada lapisan gambut akrotelmik dan katotelmik. Institut Pertanian Bogor.
- Nurzakiah S, Wakhid N, Nursyamsi D. 2017. Stratifikasi simpanan karbon di atas permukaan tanah pada lahan gambut pasang surut dan lebak. *Berita Biologi* **16**(3):289-296.
- Page SE, Rieley JO, Banks CJ. 2011. Global and regional importance of the tropical peatland carbon pool. *Global Change Biology* **17**(2):798-818. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02279.x>
- Page SE, Siegert F, Rieley JO, Boehm HV, Jaya A, Limin S. 2002. The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997, 1999(1), 6165. <http://doi.org/10.1038/nature01141.1>.
- Prayitno MB, Sabaruddin, Setyawan D, Yakup. 2013. The Prediction of peatland carbon stocks in oil palm agroecosystems. *Agrista* **17**(3):86-92.
- Qirom MA. 2011. Pendugaan persediaan karbon dan aplikasi Alos Palsar pada hutan tanaman akasia. Institut Pertanian Bogor.
- Qirom MA. 2016. Kedudukan BRG dalam Restorasi Lahan Gambut. *Bekantan* **4**(1):30-33.
- Qirom MA, et al. 2013. Pembangunan Permanen Sampel Plot (PSP) di Kalimantan Tengah. Banjarbaru.
- Qirom MA, Lazuardi D, Kodir A. 2015. Keragaman jenis dan potensi simpanan karbon hutan sekunder di Kotabaru Kalimantan Selatan. *Indonesian Forest Rehabilitation* **3**(1):49-66.
- Qirom MA, Savitri E, Akbar A. 2012. Various carbon stock estimation methods on Acacia mangium plantation and peatland trees. The 2nd Asia Forum on Carbon Update (AFCU). Bandung.
- Qirom MA, Yuwati TW, Santosa PB. 2013. The changes of natural regeneration and surface carbon stock after peat swamp forest fires. Hlm. pp. 129-134 dalam Osaki M, editor. Proceeding of international symposium on wild fire and carbon management in peat-forest in Indonesia. Palangka Raya.
- Rose M, Posa C, Wijedasa LS, Corlett RT. 2011. Biodiversity and conservation of tropical peat swamp forests. *BioScience* **61**(49):49-57. <http://doi.org/10.1525/bio.2011.61.1.10>
- Santosa PB, Susianto A, Ariani R. 2018. Pengelolaan KHDTK Tumbang Nusa. Banjarbaru. Siringoringo HH. 2013. Potensi sekuestrasi karbon organik tanah pada pembangunan hutan tanaman Acacia mangium Willd. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam* **10**(2):193-213.
- Tata MHL, Pradjadinata S. 2013. Natural regeneration of burnt peat swamp forest and burnt peatland in Tumbang Nusa, Central Kalimantan and its implication on conservation. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam* **10**(3):327-342.
- Wahyunto RS, Subagjo H. 2004. Peta sebaran lahan gambut, luas dan kandungan karbon di Kalimantan (Map of peatland distribution area and carbon content in Kalimantan) 2000-2002. Dalam Dohong S, Siegert F, Radjagukguk B, Rosalina U, Suryadiputra INN, editor. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Wauters JB, Coudert S, Grallien E, Jonard M, Ponette Q. 2008. Carbon stock in rubber tree plantations in Western Ghana and Mato Grosso (Brazil). *Forest Ecology and Management* **255**(7):2347-2361. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.12.038>
- Zhang H, Guan D, Song M. 2012. Biomass and carbon storage of Eucalyptus and Acacia plantations in the Pearl River Delta, South China. *Forest Ecology and Management* **277**:90-97. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.04.016>
- Zhang Y, Gu F, Liu S, Liu Y, Li C. 2013. Variations of carbon stock with forest types in subalpine region of southwestern China. *Forest Ecology and Management* **300**:88-95. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.06.010>