

# POTENSI CADANGAN KARBON TEGAKAN HUTAN SUB MONTANA DI TAMAN NASIONAL GUNUNG HALIMUN SALAK (*Carbon Stock Potency of Sub Montane Forest Stand in Mount Halimun Salak National Park*)

Virni Budi Arifanti<sup>1</sup>, I Wayan Susi Dharmawan<sup>2</sup> & Donny Wicaksono<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> Pusat Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim dan Kebijakan

<sup>2</sup> Pusat Penelitian dan Pengembangan Konservasi dan Rehabilitasi

Jl. Gunung Batu No.5 Bogor, Telp: (0251) 8633944, Fax: (0251) 8634924

E-mail: vbudia@yahoo.com

Diterima 17 juni 2013, direvisi 10 Februari 2014, disetujui 24 Februari 2014

## ABSTRACT

*Several baseline data of natural forest carbon stock is needed to support REDD+ (Reducing Emission from Deforestation and Degradation+) implementation as a mitigation effort for climate change issue in Indonesia. According to IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) Guidelines 2006, carbon stock calculation should be measurable, transparent, verifiable and consistent through time. At sub-national level, Java Island especially natural forest ecosystem is often overlooked by REDD+ scientists implying that the data and information on carbon stock of natural forest ecosystem in Java Island is still limited. The research has been conducted in sub montane primary forest in conservation area of Mount Halimun Salak National Park (TNGHS) with the objective to estimate the 5 carbon pools at TNGHS. Twenty seven-plots of 20x20 meters were built in the field. Measurement of forest carbon pools was done for aboveground, belowground (root), understorey and necromass at primary forest with high and low canopy density. The research showed that TNGHS has a quite high carbon stock potency as followings: aboveground 139.326 tonC/ha, belowground (root) 39.011 tonC/ha, understorey 1,971 tonC/ha and necromass 5.77 tonC/ha. Average of biomass and stand carbon stock in primary forest of TNGHS were 364.503 ton/ha dan 185.177 tonC/ha, respectively. This study recommends to use allometric equation developed by Chave et al. (2005) to estimate forest stand biomass potency at TNGHS*

*Keywords: REDD+, biomass, carbon stock, primary forest*

## ABSTRAK

Untuk mendukung implementasi REDD+ (*Reducing Emission from Deforestation and Degradation+*) sebagai upaya mitigasi perubahan iklim di Indonesia diperlukan berbagai baseline data stok karbon untuk hutan alam. Menurut IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) Guidelines 2006, perhitungan stok karbon harus terukur, terbuka, dilaporkan, dapat diverifikasi, dan konsisten. Dalam skala sub nasional, Pulau Jawa khususnya ekosistem hutan alam, seringkali luput dari perhatian para penggiat REDD+ sehingga data dan informasi mengenai cadangan karbon ekosistem hutan alam di Pulau Jawa masih sangat terbatas. Penelitian ini dilakukan di hutan alam sub montana di kawasan konservasi Taman Nasional Gunung Halimun Salak (TNGHS) dengan tujuan untuk mengetahui cadangan karbon pada 5 pool karbon di TN Gunung Halimun Salak. Dua puluh tujuh petak ukur dibuat dengan ukuran 20x20 meter. Pengukuran sumber karbon hutan dilakukan untuk biomassa di atas tanah, biomassa di bawah tanah yang meliputi perakaran tanaman, tumbuhan bawah dan nekromas pada hutan primer dengan kerapatan tajuk tinggi dan rendah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa TNGHS memiliki potensi simpanan karbon yang cukup besar yaitu: di atas permukaan tanah sebesar 139,326 tonC/ha, di bawah permukaan tanah (perakaran tanaman) sebesar 39,011 tonC/ha, tumbuhan bawah sebesar 1,971 tonC/ha dan nekromas sebesar 5,77 tonC/ha. Biomassa dan cadangan karbon tegakan rata-rata di hutan primer di TNGHS secara berturut-turut adalah sebesar 364,503 ton/ha dan 185,177 tonC/ha. Studi ini merekomendasikan persamaan alometrik yang dikembangkan oleh Chave *et al.* (2005) untuk digunakan dalam mengestimasi potensi biomassa tegakan hutan di TNGHS.

Kata kunci: REDD+, biomasa, stok karbon, hutan alam

## I. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki sumberdaya hutan seluas 134 juta ha yang terdiri dari berbagai jenis hutan dimana hutan alam merupakan jenis hutan yang masih dominan. Tingkat kehilangan penutupan hutan akibat penebangan di wilayah hutan tropis mengakibatkan emisi gas rumah kaca sebesar 10-20% secara global (Santili *et. al.*, 2005). Peranan hutan alam bagi kelestarian lingkungan dan kelangsungan hidup manusia sangatlah vital. Kerusakan hutan terutama di kawasan hutan konservasi semakin parah setelah era reformasi akibat penebangan secara liar pada sebagian kawasan hutan konservasi seperti yang terjadi di Taman Nasional Gunung Halimun Salak dan Taman Nasional Meru Betiri di Pulau Jawa.

Kajian dan penelitian hutan alam dalam kaitannya dengan aspek konservasi dan ekologi telah banyak dilakukan namun masih sedikit yang mengkaji tentang manfaat hutan alam dalam penyerapan karbon. Seperti kita ketahui, kemampuan hutan dalam menyerap dan menyimpan karbon tidak sama baik di hutan alam, hutan tanaman, hutan payau, hutan rawa maupun di hutan rakyat dan tergantung pada jenis pohon, tipe tanah dan topografi. Saat ini sumber data yang komprehensif tentang cadangan karbon di berbagai tipe ekosistem hutan dan penggunaan lahan lain masih terbatas sedangkan informasi mengenai potensi karbon pada hutan alam sangat diperlukan untuk mendukung kegiatan REDD+ dan mendukung kegiatan penurunan emisi GRK dengan target sebesar 26% dengan usaha sendiri dan 41% dengan bantuan dana internasional pada tahun 2020.

Untuk mendukung implementasi REDD+ sebagai upaya mitigasi perubahan iklim di Indonesia diperlukan kegiatan inventarisasi GRK melalui identifikasi cadangan karbon dengan metode yang diakui oleh komunitas internasional. Metode perhitungan emisi yang saat ini sudah terakreditasi dan diakui secara internasional adalah metode yang dikembangkan oleh IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) sejak tahun 2006 dalam bentuk IPCC Good Practice Guidance 2000 dan IPCC Guidelines 2006. Metode ini terdiri dari beberapa tahapan dan data tertentu yang diperlukan untuk pengukuran, pemantauan, dan pelaporan perubahan emisi (*monitoring, reporting and verification/MRV*). Data cadangan karbon memperhitungkan 5 sumber

karbon (*carbon pools*) sebagai berikut: 1). Biomasa di atas tanah (*aboveground biomass*), 2). Biomasa di bawah tanah (*belowground biomass*), 3). Pohon mati (*dead wood*), 4). Seresah (*litter*) dan 5). Tanah (*Soil*).

Perhitungan mengenai cadangan karbon di berbagai tipe hutan dan ekosistem di Indonesia telah banyak dilakukan (Dharmawan dan Siregar, 2009; Noor'an, 2007; Samsuedin *et. al.*, 2009; Dharmawan *et. al.*, 2010; Agus, 2007). Informasi mengenai cadangan karbon untuk hutan alam di Pulau Jawa khususnya di Jawa Barat masih sangat terbatas. Beberapa penelitian yang telah dilakukan di Jawa Barat diantaranya dilakukan oleh Dharmawan (2010) terhadap hutan alam primer dan sekunder di Gunung Gede Pangrango dengan rata-rata cadangan karbon atas permukaan sekitar 103,16 tonC/ha dan 113,2 tonC/ha.

Secara umum hutan lahan kering primer mampu menyimpan karbon dalam jumlah lebih besar dibandingkan dengan hutan lahan kering sekunder karena sebagian tegakan telah terganggu bahkan hilang. Kebakaran, ekstraksi kayu, pemanfaatan lahan untuk bercocok tanam dan kejadian atau aktivitas lainnya di kawasan hutan menyebabkan berkurangnya potensi biomassa yang berimplikasi langsung terhadap kemampuannya menyimpan karbon.

Taman Nasional Gunung Halimun Salak (TNGHS) merupakan taman nasional terluas di Pulau Jawa yang kaya keanekaragaman hayati. Pemilihan taman nasional ini berdasarkan Surat Keputusan Menteri Kehutanan No. 282/Kpts-II/1992 tanggal 28 Februari 1992 yang menetapkan sebagai Taman Nasional Gunung Halimun (TNGH) dengan luas 40.000 ha. TNGH resmi ditetapkan sebagai salah satu unit pelaksana teknis di Kementerian Kehutanan pada tanggal 23 Maret 1997.

Dengan meningkatnya kerusakan sumber daya alam hutan dan adanya desakan para pihak yang peduli konservasi alam, melalui SK Menteri Kehutanan No. 175/Kpts-II/2003 dengan luas total 113.357 ha (Menteri Kehutanan RI, 2003), maka kawasan TNGH ditambah dengan kawasan hutan Gunung Salak, Gunung Endut dan sekitarnya yang sebelumnya merupakan hutan produksi terbatas dan hutan lindung yang dikelola oleh Perum Perhutani diubah menjadi kawasan konservasi Taman Nasional Gunung Halimun Salak (TNGHS).

Sampai saat ini belum banyak dilakukan penelitian mengenai potensi cadangan karbon di TNGHS. Beberapa studi yang dilakukan oleh Direktorat Jenderal Perlindungan Hutan dan Konservasi Alam (PHKA) Kementerian Kehutanan tahun 2007 memperkirakan TNGHS dengan luasan 113.357 ha diperkirakan memiliki potensi cadangan karbon sebesar 1,7 triliun ton (<http://dishut.jabarprov.go.id>). Mansur *et. al.*, (2011) memperkirakan biomasa tegakan diatas permukaan tanah sebesar 152,3 tonC/ha. Penelitian ini hanya menghitung biomasa tegakan tanpa memasukkan 4 pool karbon lainnya. Beberapa penelitian lainnya ada yang sudah mengkaji cadangan karbon di areal penyangga dan juga areal perkebunan teh. Perkebunan teh dengan umur 5 sampai 20 tahun memiliki kisaran simpanan karbon sebesar 5,1 tonC/ha hingga 20,7 tonC/ha (Haryadi, 2005).

Dalam rangka mengkaji potensi cadangan karbon yang dimiliki oleh TNGHS yang merupakan taman nasional terluas di Pulau Jawa saat ini, maka penelitian ini bertujuan untuk: a). mengkaji persamaan allometrik yang tepat digunakan pada TN Gunung Halimun Salak dan b). mengetahui cadangan karbon tegakan (biomassa di atas permukaan, biomassa di bawah permukaan/perakaran tanaman, tumbuhan bawah dan nekromas) di TN Gunung Halimun Salak.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada hutan konservasi Taman Nasional Gunung Halimun Salak (TNGHS), Jawa Barat, yang mewakili tipe hutan pegunungan dataran tinggi dengan ketinggian berkisar antara 500-2.211 mdpl. Berdasarkan sejarah geologi kawasan TNGHS merupakan bagian dari sabuk gunung berapi yang memanjang dari Pegunungan Bukit Barisan Selatan Sumatera ke Gunung Honje di TN Ujung Kulon dan seterusnya ke Gunung Halimun-Salak. Gunung Salak sampai saat ini masih berstatus gunung berapi strato tipe A dan terakhir meletus pada tahun 1938. Gunung Salak memiliki kawah yang masih aktif dan dikenal dengan nama Kawah Ratu. Lokasi penelitian ini dipilih mewakili tipe ekosistem yang khas di Jawa Barat dan selama ini belum pernah dilakukan penelitian mengenai perhitungan stok

karbon pada 5 pool karbon secara terestris di TNGHS (Sumber: wawancara dengan staf TNGHS). Berdasarkan sampling keterwakilan wilayah TNGHS dan aksesibilitas lapangan, penelitian dilakukan di 3 lokasi yaitu Resort Cikaniki, Resort Kawah Ratu dan Resort Gunung Bedil Cibedug. Penelitian dilakukan pada bulan Agustus sampai dengan Desember 2012.

### B. Metode Pengumpulan Data

Kegiatan penelitian dilaksanakan melalui beberapa tahapan dengan mengacu pada SNI 7724:2011 tentang Pengukuran dan Penghitungan Cadangan Karbon. Pengambilan data dilakukan dengan pengukuran contoh di lapangan, analisis data lapangan dan analisis laboratorium.

#### 1. Penentuan lokasi pengambilan contoh

Lokasi pengambilan contoh telah ditentukan berdasarkan informasi awal tipe hutan/vegetasi di lokasi penelitian. Teknik pengambilan contoh yang digunakan adalah pengambilan contoh didasarkan kebutuhan penelitian (*purposive sampling*) dengan toleransi kesalahan (*sampling error*) maksimal 20 % dengan tingkat kepercayaan 95%. Kesalahan sampling atau *sampling error* =  $(\text{Total standard error rata-rata standard error}) \times 100\%$  (Chave *et. al.*, 2005). Petak-petak contoh ditempatkan pada lokasi tipe hutan yang dominan, mewakili kondisi di kawasan tersebut dan dapat dijangkau.

#### 2. Stratifikasi

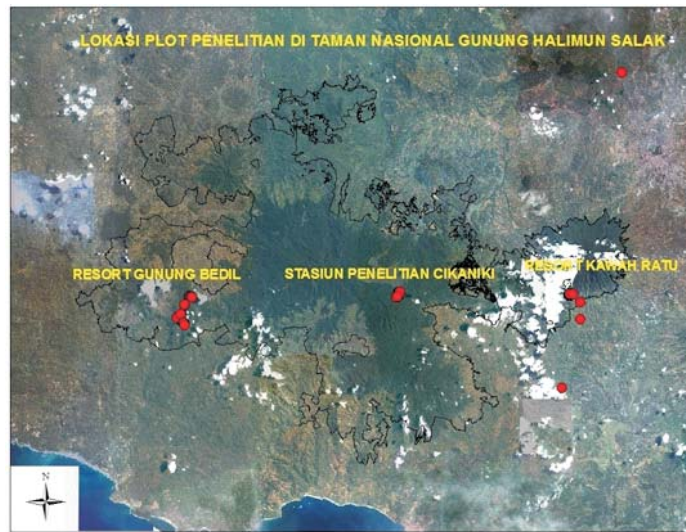
Stratifikasi bertujuan mengelompokkan tapak berdasarkan peta tutupan lahan (*land cover*) yang diperoleh dari interpretasi citra satelit Landsat dengan resolusi 30 m. Pada penelitian ini stratifikasi dilakukan dengan mengelompokkan hutan primer berdasarkan kerapatan vegetasinya, yaitu (1) hutan primer dengan tutupan vegetasi tinggi dan (2) hutan primer dengan tutupan vegetasi rendah. Plot contoh pada setiap kelas kerapatan diulang sebanyak tiga kali ulangan. Pengukuran biomassa dilakukan pada 27 plot yang tersebar di sekitar Stasiun Penelitian Cikaniki, Resort Kawah Ratu, Resort Gunung Bedil dan Cibedug (Gambar 1).

#### 3. Pembuatan Plot Pengukuran

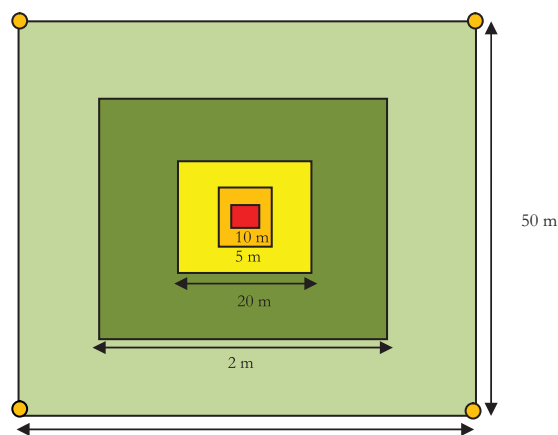
Pada kegiatan ini dibuat plot pengukuran untuk pendugaan biomassa pada tipe hutan alam di kawasan konservasi yang mengacu pada metoda SNI 7724:2011. Pembuatan plot ditentukan berdasarkan sebaran kerapatan tegakan.

Perhitungan stok karbon dilakukan dengan menggunakan metoda plot bertingkat (Gambar 2). Plot bertingkat didesain untuk mengakomodasi pengukuran masing-masing tipe kandungan

karbon, karena stok karbon pada satu ekosistem hutan terdiri dari stok karbon *above ground*, (pohon, *understorey*, dan serasah) dan *below ground* (akar dan materi organik tanah).



Gambar 1. Lokasi plot penelitian di Taman Nasional Gunung Halimun Salak  
*Figure 1. Research plots at Gunung Halimun Salak National Park*



Gambar 2. Bentuk plot pengambilan contoh  
*Figure 2. Sampling plot lay out*

Keterangan:

- Patok bantu plot
- Sub plot ukuran 1 X 1 meter untuk mengukur tumbuhan bawah
- Sub plot ukuran 2 X 2 meter untuk mengukur semai (vegetasi berkayu berdiameter < 2,5 cm dengan tinggi ≤ 1,5 m)
- Sub plot ukuran 5 X 5 meter untuk pancang (vegetasi berkayu berdiameter 2,5 cm sampai dengan < 10 cm)
- Sub plot ukuran 10 m X 10 m untuk mengukur tiang (pohon Ø 10 sampai dengan < 20 cm)
- Plot ukuran 20 m X 20 m untuk mengukur pohon Ø ≥ 20 cm



#### 4. Pengukuran Biomassa Hutan

##### Pengukuran Biomassa Tegakan (Semai, Pancang, Tiang dan Pohon)

Pengukuran pohon dilakukan pada plot 20 m x 20 m dengan mengukur tinggi dan DBH (*diameter at breast height*) pohon untuk DBH > 20 cm. Pengukuran tiang dengan DBH 2,5 - 20 cm dilakukan pada sub plot 10 m x 10 m. Pengukuran pancang dilakukan pada sub plot 5 m x 5 m dan pengukuran semai dilakukan pada sub plot 2 m x 2 m.

##### Pengukuran Biomassa Tumbuhan Bawah (Understory)

Pengukuran tumbuhan bawah dilakukan pada sub sub plot 1 m x 1 m. Pengambilan contoh biomassa tumbuhan bawah dilakukan dengan metode '*destructive*' (merusak bagian tanaman) dan menimbanginya secara langsung di lapangan. Contoh tumbuhan bawah dari lapangan kemudian di keringkan dengan *oven* pada suhu 85°C selama 2 x 24 jam. Tumbuhan bawah yang diambil sebagai contoh adalah semua tumbuhan hidup berupa tanaman tidak berkayu baik yang merambat maupun tidak merambat (herba dan rerumputan).

##### Pengukuran Biomassa Pohon Mati/ Nekromas

Pengukuran biomassa pohon mati dilakukan dengan mengukur diameter setinggi dada dan tinggi total pohon mati.

#### C. Analisis Data

##### 1. Pendugaan Biomassa di Atas Permukaan Tanah

Pendugaan biomassa di lokasi penelitian di TN Gunung Halimun Salak didasarkan pada hubungan antara diameter setinggi dada, tinggi pohon dan berat jenis kayu. Persamaan alometrik biomassa di atas permukaan tanah yang digunakan adalah Siregar dan Dharmawan (2009) untuk hutan pegunungan tanah mineral; Chave *et. al.* (2009) untuk hutan tipe lembab; dan Ketterings *et. al.* (2001) untuk hutan sekunder campuran. Sebagai kontrol, persamaan geometrik digunakan untuk menduga biomassa di atas permukaan tanah.

Persamaan alometrik yang dikembangkan oleh Siregar dan Dharmawan (2009), Chave *et. al.* (2005), Ketterings (2001) dan geometrik adalah sebagai berikut:

a) Pendugaan biomassa di atas permukaan tanah untuk hutan lahan kering berdasarkan hasil

penelitian yang dilakukan oleh Siregar dan Dharmawan (2009) dengan rumus :

$$Y = 0,1728 \times \text{DBH}^{2,2234} \dots\dots\dots(1)$$

dimana :

$$R^2 = 97,7$$

Y = biomassa total (kg)

DBH = diameter setinggi dada (cm)

b) Pendugaan biomassa dengan persamaan Chave *et. al.* (2005) untuk hutan tipe lembab (*moist forest*) dengan rumus :

$$Y = 0,0509 \times \rho \times \text{DBH}^2 \times T \dots\dots\dots(2)$$

dimana:

Y = biomassa total (kg)

DBH = diameter setinggi dada (m)

$\rho$  = berat jenis kayu ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

T = tinggi pohon (m)

c) Pendugaan biomassa dengan persamaan Ketterings *et. al.* (2001)

$$Y = 0.11 \rho \text{DBH}^{2,62} \dots\dots\dots(3)$$

dimana:

Y = biomassa total (kg)

$\rho$  = berat jenis kayu ( $\text{kg}/\text{m}^3$  atau  $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

DBH = diameter setinggi dada (cm)

d) Pendugaan biomassa dengan persamaan geometrik

$$Y = \frac{1}{4} \Pi (\text{DBH}/100)^2 \times t \times f \times \text{BJ} \dots\dots\dots(4)$$

dimana:

Y = biomassa total (kg);

DBH = diameter setinggi dada pohon pada ketinggian 1,3 meter (cm);

t = tinggi total pohon (m);

f = faktor angka bentuk (0,7)

BJ = berat jenis kayu ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

##### 2. Perhitungan Biomassa di Bawah Permukaan Tanah (Perakaran Tanaman)

Pengukuran biomassa karbon di bawah permukaan tanah dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Bbp} = \text{NAP} \times \text{Bap} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan:

Bbp adalah biomassa di bawah permukaan tanah (kg);

NAP adalah nilai nisbah akar pucuk;

Bap adalah nilai biomassa di atas permukaan (*above ground biomass*) (kg)

### 3. Perhitungan Biomassa Pohon Mati (Nekromas)

Pengukuran biomassa pohon mati dilakukan dengan mengukur diameter setinggi dada dan tinggi total pohon mati. Biomassa pohon mati dihitung dengan persamaan:

$$Y = \frac{1}{4} \pi (DBH/100)^2 \times t \times f \times BJ \dots \dots \dots (6)$$

dimana:

- Y = biomassa total (kg);
- DBH = diameter setinggi dada pohon mati pada ketinggian 1,3 meter (cm);
- t = tinggi total pohon mati (m);
- f = faktor angka bentuk (0,7)
- BJ = berat jenis kayu pohon mati (kg/m<sup>3</sup>)

### 4. Perhitungan Cadangan Karbon di Atas Permukaan Tanah, di Bawah Permukaan Tanah dan Pohon Mati (Nekromas)

Perhitungan cadangan karbon dari biomassa menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Cb = B \times \% C \text{ organik} \dots \dots \dots (7)$$

Keterangan:

- Cb : kandungan karbon dari biomassa, dinyatakan dalam kilogram (kg);
- B : total biomassa, dinyatakan dalam (kg);
- %C organik : nilai persentase kandungan karbon, sebesar 0,47 atau menggunakan nilai persen karbon yang diperoleh dari hasil pengukuran di laboratorium

### 5. Perhitungan Cadangan Karbon per Hektar

Perhitungan cadangan karbon per hektar dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$C_n = \frac{C_x}{1000} \times \frac{10000}{l_{plot}} \dots \dots \dots (8)$$

Keterangan:

- Cn : kandungan karbon per hektar pada masing-masing *carbon pool* pada tiap plot (tonC/ha)
- Cx : kandungan karbon pada masing-masing *carbon pool* pada tiap plot, (kg)
- l<sub>plot</sub> : luas plot pada masing-masing pool (m<sup>2</sup>)

### 6. Perhitungan Cadangan Karbon Total Dalam Plot

Perhitungan cadangan karbon total dalam plot menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$C_{plot} = (C_{bap} + C_{bdp} + C_{tb} + C_{pm}) \dots \dots \dots (9)$$

Keterangan:

- C<sub>plot</sub> : total kandungan karbon pada plot (tonC/ha);
- C<sub>bap</sub> : total kandungan karbon biomassa di atas permukaan per hektar pada plot (tonC/ha);
- C<sub>bdp</sub> : total kandungan karbon biomassa di bawah permukaan per hektar pada plot (tonC/ha);
- C<sub>tb</sub> : total kandungan karbon biomassa tumbuhan bawah per hektar pada plot (tonC/ha);
- C<sub>pm</sub> : total kandungan karbon pohon mati per hektar pada plot (tonC/ha);

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Komposisi Floristik di hutan Sub-Montana

Hutan sub-montana dideskripsikan sebagai hutan yang berada di ketinggian sekitar 1000-1500 mdpl (Van Steenis, 1972). Hutan ini memiliki rata-rata tinggi pohon sekitar 20-30 m, memiliki jenis species tanaman yang lebih beragam dibandingkan dengan hutan montana, dan mengandung species yang berasal dari hutan dataran rendah (Letouzey 1985; Thomas dan Achoundong, 1991 dalam Doumenge, 1995). Pada ketinggian 1000-1500 mdpl dapat dijumpai jenis-jenis *Acer laurinum*, ganitri (*Elaeocarpus ganitrus*), *Eurya acuminatissima*, *Antidesma bunius*, *Ficus* sp., kayu putih (*Cinnamomum* sp), kileho (*Saurauia pendula*) dan kimerak (*Weinmannia blumei*).

Penelitian di lapangan mencatat sebanyak 593 tanaman dengan komposisi pohon sebanyak 235 buah dengan diameter 16,5 - 88 cm, tiang sebanyak 66 buah dengan diameter 10-19,5 cm, pancang sebanyak 183 buah dengan diameter 2,5 - 9,5 cm dan semai sebanyak 46 buah dengan diameter < 2,5 cm dengan tinggi ≤ 1,5 m; dan tumbuhan bawah sebanyak 60 buah.

Analisis komposisi floristik di lokasi plot penelitian TNGHS menunjukkan kisaran diameter vegetasi antara 0,15 - 88 cm. Jenis tanaman dan jumlah pohon terbanyak ditemukan pada plot hutan primer dengan kerapatan tinggi di Resort Gunung Bedil yaitu sebanyak 36 jenis tanaman dan 35 pohon per plot. Jenis tanaman yang umum ditemukan adalah puspa (*Schima walichii*), rasamala (*Altingia excelsa*), damar (*Agathis damara*), pasang (*Quercus sundaica*), pasang batarua (*Quercus lineata*), ki

hujan (*Engelhardia spicata*), dan saninten (*Castanopsis argentea*). Komposisi floristik dan jumlah vegetasi di

lokasi penelitian ditampilkan pada Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Komposisi floristik pada plot penelitian di TNGHS

Table 1. Floristic composition at research plots at TNGHS

Plot <i>Sampling Plot</i>	Lokasi <i>Location</i>	Jumlah Jenis Number of spp/plot	Jumlah Pohon Number of trees/plot	DBH (cm)	Jenis Dominan <i>Dominant spp.</i>
Hutan Primer Rapat	Cikaniki	23	30	16,5 – 84	<i>Altingia excelsa</i> (rasamala), <i>Schima walichii</i> (puspa), <i>Prunus arborea</i> (kawoyang)
Hutan Primer Jarang	Cikaniki	28	23	0,7 - 65,1	<i>Prunus arborea</i> (kawoyang), <i>Claoxylon longifolium</i> (ki talingkup), <i>Blumeodendron elateriospermum</i> (pokray)
Hutan Primer Rapat	Kawah Ratu	21	33	0,7 - 88,0	<i>Schima walichii</i> (puspa), <i>Altingia excelsa</i> (rasamala), <i>Engelhardia spicata</i> (ki hujan), <i>Acronychia laurifolia</i> (jejerukan)
Hutan Primer Jarang	Kawah Ratu	28	30	1,1 - 68,0	<i>Gordonia excelsa</i> (mumuncangan), <i>Engelhardia spicata</i> (ki hujan), <i>Urophyllum arboreum</i> (ki cengkeh)
Hutan Primer Rapat	Gunung Bedil	36	35	0,2 - 35,0	<i>Quercus sundaica</i> (pasang), <i>Schima walichii</i> (puspa), <i>Altingia excelsa</i> (rasamala)
Hutan Primer Jarang	Gunung Bedil	36	20	2,5 - 35,0	<i>Quercus sundaica</i> (pasang), <i>Schima walichii</i> (puspa), <i>Altingia excelsa</i> (rasamala)
Hutan Tanaman Rasamala	Gunung Bedil	25	36	0,63 - 35,0	<i>Altingia excelsa</i> (rasamala)
Hutan Tanaman Damar	Gunung Bedil	16	28	0,15 - 35,0	<i>Agathis damara</i> (damar), <i>Altingia excelsa</i> (rasamala)

Sebaran kelas diameter batang pohon terbanyak ditemukan pada kisaran diameter 20-29 cm yang didominasi oleh jenis rasamala (*Altingia excelsa*) dan damar (*Agathis damara*). Jenis pohon dengan kelas diameter yang berkisar antara 30-39 cm didominasi oleh rasamala (*Altingia excelsa*) dan pasang (*Quercus sundaica*) dan kelas diameter 40-80 cm didominasi oleh puspa (*Schima wallichii*). TNGHS yang sebagian besar memiliki ketinggian antara 1000-1400 mdpl dapat dikategorikan sebagai hutan *sub montane* yang memiliki keanekaragaman hayati yang lebih tinggi dibandingkan tanaman di tipe hutan *montane*. Hutan montana dengan ketinggian lebih dari 1500 mdpl diketahui memiliki rata-rata tinggi pohon yang lebih rendah, ukuran daun yang lebih kecil serta banyak ditemukan epifit dan lumut (Doumenge, 1995). Zona montana (ketinggian >1500 mdpl) didominasi oleh jenis jamuju (*Dacrycarpus imbricatus*), kibima (*Podocarpus blumei*) dan kiputri (*Podocarpus neriiifolius*) (Van Steenis, 1972).

Hasil penelitian ini didukung oleh hasil penelitian yang dilakukan oleh *Japan International Cooperation Agency* (JICA) yang menyatakan bahwa TNGHS didominasi oleh tanaman dari jenis rasamala, puspa dan oaks (*Lithocarpus* spp.). Di zona *sub montane* ditemukan lebih sedikit tumbuhan bawah namun telah ditemukan sekitar 75 jenis tanaman anggrek (Yayasan Ekowisata Halimun, 2001).

## B. Biomassa dan Cadangan Karbon TNGHS

### 1. Biomassa dan Cadangan Karbon Atas Permukaan Tanah

Hasil perhitungan biomassa dan cadangan

karbon atas permukaan di plot penelitian (Tabel 2) menunjukkan bahwa hutan primer dengan kerapatan vegetasi tinggi (kerapatan tutupan tajuk 75% - 97%) memiliki biomassa dan cadangan karbon atas permukaan lebih tinggi dibandingkan dengan hutan primer dengan kerapatan vegetasi jarang (kerapatan tutupan tajuk 48% - 85%). Perhitungan biomassa permukaan atas berdasarkan persamaan alometrik yang dikembangkan oleh Siregar *et. al.*, Chave *et. al.* dan Ketterings *et. al.* menunjukkan bahwa rata-rata biomassa permukaan atas di plot penelitian TNGHS berdasarkan ketiga persamaan alometrik diatas adalah 131,268 ton/ha; 277,453 ton/ha dan 204,126 ton/ha dengan cadangan karbon permukaan atas sebesar 56,623 tonC/ha; 139,326 tonC/ha dan 87,91 tonC/ha. Pada penelitian ini dihasilkan nilai fraksi karbon rata-rata sebesar 0,45 untuk jenis tanaman berkayu di TNGHS. Sebagai pembanding, maka biomassa permukaan atas dihitung pula dengan metode geometrik dengan menggunakan faktor angka bentuk sebesar 0,7. Metode pendugaan biomasa secara geometrik dilakukan dengan menghitung volume kayu dengan rumus silinder kemudian dikalikan dengan nilai faktor bentuk dan berat jenis kayu (SNI 7724, 2011).

Dari hasil perhitungan dengan metode geometrik diperoleh nilai biomassa dan cadangan karbon permukaan atas sebesar 395,512 ton/ha dan 178,964 ton C/ha. Perhitungan biomassa atas permukaan tanah (*Above Ground Biomass/AGB*) berdasarkan berbagai persamaan alometrik ditampilkan pada Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Biomassa dan Cadangan Karbon Atas Permukaan berdasarkan tipe kerapatan tajuk di TNGHS  
Table 2. *Aboveground biomass and carbon stock based on forest canopy density in TNGHS*

Tipe hutan <i>Forest type</i>	Biomassa Atas Permukaan (ton/ha) <i>Aboveground biomass (tonnes/ha)</i>				Cadangan Karbon Atas Permukaan (tonC/ha) <i>Aboveground C stock (tonC/ha)</i>			
	Siregar <i>et. al.</i>	Chave <i>et. al.</i>	Ketterings <i>et. al.</i>	Geometrik	Siregar <i>et. al.</i>	Chave <i>et. al.</i>	Ketterings <i>et. al.</i>	Geometrik
Hutan Primer Kerapatan Tinggi	181,517	385,933	288,595	541,540	77,832	185,813	123,339	248,057
Hutan Primer Kerapatan Rendah	81,019	169,033	119,657	249,484	35,414	92,839	52,480	109,871
Rata-rata	131,268	277,483	204,126	395,512	56,623	139,326	87,910	178,964



Dari ketiga persamaan alometrik tersebut diketahui bahwa persamaan alometrik Chave *et. al.* memberikan nilai biomassa permukaan atas terbesar, diikuti oleh persamaan Ketterings *et. al.* dan Siregar *et. al.* Mansur *et. al.* (2011) mendapatkan biomassa pohon permukaan atas di TNGHS sebesar 304,5 ton/ha dengan kandungan karbon 152,3 ton/ha. Nilai tersebut mendekati biomassa dan cadangan karbon pada penelitian ini yang dihitung dengan persamaan alometrik yang dikembangkan oleh Chave *et. al.* (2005). Selain itu, persamaan alometrik yang dikembangkan oleh Chave *et. al.* (2005) adalah yang paling mendekati biomassa hasil perhitungan dengan metode geometrik. Chave *et. al.* (2005) mengembangkan persamaan alometrik berdasarkan prediktor terpenting dalam pendugaan biomassa tegakan, yaitu diameter dan berat jenis kayu. Persamaan tersebut telah diuji coba pada berbagai tipe hutan, yaitu hutan sekunder, hutan tanah kering, lembab dan basah, hutan pegunungan, hutan dataran rendah serta hutan mangrove. Berdasarkan hasil analisis tersebut, maka persamaan alometrik yang dikembangkan oleh Chave *et. al.* (2005) merupakan persamaan terbaik saat ini yang dapat digunakan untuk menduga biomassa permukaan atas di hutan primer di TNGHS.

Persamaan Ketterings dan Chave memberikan hasil yang berbeda karena karakteristik tegakan dan ekosistem yang melahirkan kedua persamaan allometrik tersebut berbeda. Ketterings melakukan penelitiannya pada areal hutan sekunder di Jambi, Sumatera, sementara Chave melakukan penelitiannya dengan sebaran hutan primer dan hutan sekunder di 27 negara tropis. Kisaran diameter dalam kedua persamaan tersebut juga berbeda, dimana Ketterings menggunakan kisaran diameter < 50 cm sedangkan Chave mengembangkan model berdasarkan 2410 pohon dengan kisaran diameter 5-156 cm, sehingga persamaan Chave *et. al.* (2005) bersifat lebih *robust* dibandingkan Ketterings *et. al.* (2001) untuk diterapkan di TNGHS. Penelitian lain pada kawasan konservasi taman nasional di Jawa Barat menyebutkan bahwa potensi biomassa, kandungan karbon dan kandungan setara CO<sub>2</sub> di Taman Nasional Gede Pangrango berturut-turut sebesar 551,12 ton/ha; 275,56 ton/ha dan 1.010,38 ton/ha (Siregar, 2007). Jenis-jenis *Castanopsis argentea* dan *Altingia excelsa* menyimpan karbon tertinggi masing-masing sebesar 70,39 ton/

ha dan 54,67 ton/ha. Sementara itu, peningkatan simpanan karbon di Taman Nasional Gede Pangrango melalui kegiatan rehabilitasi, tumbuhan bawah, hutan tanaman Agathis umur 40 tahun, hutan campuran Agathis umur 40 tahun dan tanaman lainnya, hutan campuran Agathis umur 17 tahun dan tanaman lainnya serta hutan alam masing-masing sebesar 1,87 tonC/ha; 17,31 tonC/ha; 445,02 tonC/ha; 407,62 tonC/ha; 137,32 tonC/ha dan 370,81 tonC/ha (Dharmawan, 2010).

Di Provinsi Jawa Timur, khususnya Taman Nasional Meru Betiri memiliki data yang cukup lengkap terkait monitoring perubahan tutupan lahan, simpanan karbon dan emisinya. Taman Nasional Meru Betiri memiliki 5 zonasi yaitu Zona Hutan Inti, Zona Hutan Rimba, Zona Pemanfaatan, Zona Pemanfaatan Khusus dan Zona Rehabilitasi yang masing-masing memiliki potensi simpanan karbon sebesar 133,69 tonC/ha; 145,98 tonC/ha; 118,34 tonC/ha; 98,8 tonC/ha dan 28,7 tonC/ha. Pendekatan penggunaan persamaan allometrik di Taman Nasional Gunung Gede Pangrango dan Taman Nasional Meru Betiri berbeda. Estimasi perhitungan biomassa di Taman Nasional Gunung Gede Pangrango menggunakan persamaan allometrik Brown (1997) dengan klasifikasi iklim lembab, sementara Taman Nasional Meru Betiri menggunakan persamaan allometrik Chave *et. al.* (2005) dengan klasifikasi iklim basah. Perhitungan potensi cadangan karbon di Taman Nasional Meru Betiri dilakukan dengan metode yang sama dengan penelitian ini, yaitu dengan menggunakan model Chave *et. al.* (2005). Tingkat serapan CO<sub>2</sub> di Taman Nasional Meru Betiri adalah sebesar 211.715,56 tonCO<sub>2</sub>eq/tahun (tahun 1997) dan 242.460,05 tonCO<sub>2</sub>eq/tahun (tahun 2010) dengan serapan CO<sub>2</sub> rata-rata tahunan dari tahun 1997-2010 adalah sebesar 226.158,75 tonCO<sub>2</sub>eq/tahun (Dharmawan *et. al.*, 2011). Potensi simpanan karbon di Taman Nasional Meru Betiri tergolong tinggi. Hal ini didasarkan pada simpanan karbon di hutan tropis Asia bervariasi antara 40-250 tonC/ha untuk vegetasi dan 50-120 tonC/ha untuk tanah (JICA, 2002).

## 2. Biomassa dan Cadangan Karbon Bawah Permukaan Tanah (Perakaran Tanaman)

Biomassa bawah permukaan (akar) dihitung dengan menggunakan Nisbah Akar Pucuk (*Root Shoot Ratio*) sebesar 0,28 untuk tipe hutan

pegunungan tropis (berdasarkan IPCC Guidelines 2006). Dari hasil perhitungan biomassa atas

permukaan (Tabel 2) maka diperoleh biomassa bawah permukaan sebagai berikut (Tabel 3).

Tabel 3. Biomassa dan Cadangan Karbon Bawah Permukaan berdasarkan tipe kerapatan tajuk di TNGHS  
*Table 3. Belowground biomass and C stock based on forest density in TNGHS*

Tipe hutan <i>Forest type</i>	Biomassa Bawah Permukaan (ton/ha) <i>Belowground biomass (tonnes/ha)</i>				Cadangan Karbon Bawah Permukaan (tonC/ha) <i>Belowground C stock (tonC/ha)</i>			
	Siregar <i>et. al.</i>	Chave <i>et. al.</i>	Ketterings <i>et. al.</i>	Geometrik	Siregar <i>et. al.</i>	Chave <i>et. al.</i>	Ketterings <i>et. al.</i>	Geometrik
Hutan Primer Kerapatan Tinggi	50,825	108,061	80,807	151,631	21,793	52,028	34,535	69,456
Hutan Primer Kerapatan Rendah	22,685	47,329	33,504	69,856	9,916	25,995	14,694	30,764
Rata-rata	36,755	77,695	57,155	110,743	15,854	39,011	24,615	50,110

Biomassa bawah permukaan (akar) dihitung dengan menggunakan Nisbah Akar Pucuk (*Root Shoot Ratio*) sebesar 0,28 untuk tipe hutan pegunungan tropis (IPCC Guidelines 2006). Tabel 3 menunjukkan bahwa biomassa dan cadangan karbon bawah permukaan (*belowground biomass*) di hutan primer dengan kerapatan tajuk yang tinggi adalah lebih tinggi dibandingkan dengan yang didapatkan di hutan primer dengan kerapatan tajuk rendah. Persamaan alometrik yang dikembangkan oleh Chave *et. al.* memberikan nilai biomassa dan cadangan karbon bawah permukaan sebesar 77,695 ton/ha dan 39,022 ton C/ha dimana nilai tersebut adalah yang paling mendekati hasil perhitungan dengan metode geometrik.

### 3. Biomassa dan Cadangan Karbon Pohon Mati (Nekromas)

Hutan tropis dicirikan dengan tingkat keanekaragaman hayati yang tinggi dengan dinamika tumbuhan yang kompleks sehingga menghasilkan keragaman tegakan dan struktur hutan. Tumbuhan yang mati dan terdekomposisi merupakan komponen penting dalam siklus karbon ekosistem hutan dan berhubungan erat dengan struktur hutan (Denslow, 1987; Harmon and Franklin, 1989 *dalam* Palace *et. al.* 2008).

Biomassa dan cadangan karbon pada pohon mati (nekromas) dengan diameter > 5 cm dihitung pada plot dengan ukuran 10 m x 20 m. Nekromas dengan diameter > 5 cm tidak ditemukan pada plot penelitian di hutan rasamala dan damar. Biomassa dan cadangan karbon pada pohon mati dengan diameter > 5 cm ditampilkan pada Tabel 4.

Rata-rata biomassa dan cadangan karbon pohon mati di hutan primer dengan kerapatan tajuk yang tinggi (7,98 tonC/ha) adalah lebih tinggi dibandingkan dengan biomassa dan cadangan karbon di hutan primer dengan kerapatan tajuk yang rendah (1,758 tonC/ha) (Table 4). Hasil yang ditemukan pada plot penelitian di TNGHS pada kerapatan tajuk yang tinggi (7,98 tonC/ha) hampir mendekati produksi nekromas di Amazon sebesar 6,7 tonC/ha/thn serta nekromas dengan diameter > 10 cm menghasilkan cadangan karbon sebesar 4.7 tonC/ha/thn (Palace, 2008). Perbedaan hasil yang cukup tinggi antara nekromas dengan DBH > 5 cm di kerapatan tajuk tinggi lebih disebabkan oleh variasi gangguan alami yang terjadi di areal hutan. Variasi tersebut bisa disebabkan oleh pohon tumbang akibat umur yang sudah tua dan lapuk, atau akibat adanya angin kencang sehingga pohon menjadi roboh.

Tabel 4. Biomassa dan cadangan karbon pada pohon mati dengan diameter &gt; 5 cm di TNGHS

*Table 4. Biomass and C stock of necromass in TNGHS with dbh > 5 cm in TNGHS*

Plot <i>Plot</i>	Lokasi <i>Location</i>	Kerapatan tajuk <i>Canopy density</i>	Biomassa (ton/ha) <i>Biomass</i> (tonnes/ha)	Cadangan Karbon (tonC/ha) <i>C stock</i> (tonC/ha)	Rata-rata Cadangan Karbon Nekromas (tonC/ha) <i>Average necromass C stock</i> (tonC/ha)
P.I.1	Cikaniki	Tinggi	0,058	1,386	
P.I.2	Cikaniki	Tinggi	63,343	29,850	
P.I.3	Cikaniki	Tinggi	0,003	0,294	
P.III.1	Kawah Ratu	Tinggi	1,513	0,740	
P.III.2	Kawah Ratu	Tinggi	3,408	1,748	
P.III.3	Kawah Ratu	Tinggi	1,552	0,717	7,980
P.I.1	Gunung Bedil	Tinggi	3,427	1,193	
P.I.2	Gunung Bedil	Tinggi	11,043	5,309	
P.I.4	Gunung Bedil	Tinggi	24,199	11,410	
P.I.5	Gunung Bedil	Tinggi	57,592	27,155	
P.II.1	Cikaniki	Rendah	1,552	0,730	
P.II.2	Cikaniki	Rendah	17,791	8,027	
P.II.3	Cikaniki	Rendah	1,011	0,464	
P.IV.1	Kawah Ratu	Rendah	0,035	0,016	1,758
P.IV.2	Kawah Ratu	Rendah	0,050	0,024	
P.IV.3	Kawah Ratu	Rendah	0,164	0,041	
P.I.6	Gunung Bedil	Rendah	6,372	3,005	

Fenomena tersebut ditemukan juga pada tingkat kerapatan rendah. Bukti-bukti tersebut menunjukkan bahwa variasi data yang ada bukan disebabkan oleh klasifikasi kerapatan tegakan tetapi lebih disebabkan oleh variasi gangguan alami yang terjadi.

Tabel 5 menunjukkan hasil pengukuran nekromas dengan diameter < 5 cm dilakukan pada plot 2 x 2 meter dengan menghasilkan cadangan karbon nekromas sebesar 0.486 tonC/ha pada hutan dengan kerapatan tinggi dan 1.318 tonC/ha

pada hutan dengan kerapatan rendah. Penelitian di Amazon menghasilkan cadangan karbon untuk nekromas dengan kelas < 2 cm berkisar antara 0.8-1.2 tonC/ha/thn (Palace, 2008). Palace (2008) juga menyatakan bahwa seiring dengan meningkatnya biomassa (pada hutan dengan kerapatan tinggi), maka proporsi nekromasa akan menurun. Biomassa pohon terbesar dapat ditemukan pada hutan yang tidak terganggu untuk jangka waktu yang panjang dan menghasilkan nekromasa yang rendah.

Tabel 5. Biomassa dan cadangan karbon nekromas dengan diameter < 5 cm di TNGHS  
 Table 5. Biomass and C stock of necromass with dbh < 5 cm in TNGHS

Lokasi <i>Location</i>	Kerapatan tajuk <i>Canopy density</i>	Sumber Karbon <i>Carbon pool</i>	Biomassa (ton/ha) <i>Biomass (tonnes/ha)</i>	Biomassa rata-rata (ton/ha) <i>Average biomass (tonnes/ha)</i>	Cadangan karbon/plot (tonC/ha) <i>Average C stock/plot (tonC/ha)</i>	Cadangan karbon rata-rata (tonC/ha) <i>Average C stock (tonC/ha)</i>
Cikaniki	Tinggi	Nekromas	1,55		0,775	
Cikaniki	Tinggi	Nekromas	0,34		0,17	
Cikaniki	Tinggi	Nekromas	0,51		0,225	
Kawah Ratu	Tinggi	Nekromas	0		0	
Kawah Ratu	Tinggi	Nekromas	0,84		0,42	
Kawah Ratu	Tinggi	Nekromas	0		0	
Gn. Bedil	Tinggi	Nekromas	0,49		0,25	
Gn. Bedil	Tinggi	Nekromas	1,2	0,973	0,6	0,486
Gn. Bedil	Tinggi	Nekromas	3,05		1,53	
Rasamala	Tinggi	Nekromas	1,18		0,59	
Rasamala	Tinggi	Nekromas	0,21		0,11	
Rasamala	Tinggi	Nekromas	0,17		0,09	
Damar	Tinggi	Nekromas	1,64		0,82	
Damar	Tinggi	Nekromas	0,66		0,33	
Damar	Tinggi	Nekromas	2,76		1,38	
Cikaniki	Rendah	Nekromas	0,79		0,395	
Cikaniki	Rendah	Nekromas	2,974		1,487	
Cikaniki	Rendah	Nekromas	0,37		0,185	
Kawah Ratu	Rendah	Nekromas	0		0	
Kawah Ratu	Rendah	Nekromas	4,081		2,041	
Kawah Ratu	Rendah	Nekromas	3,332		1,666	
Gn. Bedil	Rendah	Nekromas	0,85	2,632	0,43	1,318
Gn. Bedil	Rendah	Nekromas	1,13		0,57	
Gn. Bedil	Rendah	Nekromas	2,22		1,11	
Semak	Rendah	Nekromas	7,44		3,72	
Semak	Rendah	Nekromas	1,55		0,78	
Semak	Rendah	Nekromas	6,85		3,43	
RATA-RATA				1,803		0,902

#### 4. Biomassa dan Cadangan Karbon Tumbuhan Bawah

Tabel 6 menunjukkan bahwa biomassa dan cadangan karbon rata-rata tumbuhan bawah di hutan primer dengan kerapatan tajuk yang rendah adalah sebesar 5,702 ton/ha dan 2,852 tonC/ha. Nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan biomassa dan cadangan karbon rata-rata tumbuhan bawah di hutan primer dengan kerapatan tajuk yang

tinggi (2,177 ton/ha) dan 1,090 tonC/ha. Fenomena ini dapat dijelaskan karena hutan dengan kerapatan tajuk yang rendah dapat meneruskan cahaya matahari lebih banyak ke lantai hutan sehingga memungkinkan tumbuhan bawah untuk tumbuh lebih subur dibandingkan dengan hutan dengan kerapatan tajuk yang rapat. Hasil penelitian di Taman Nasional Gede Pangrango khususnya di wilayah Resort Nagrak, Sukabumi memiliki potensi



biomassa dan simpanan karbon tumbuhan bawah (khususnya alang-alang) masing-masing sebesar 4,06 ton/ha dan 2,03 tonC/ha atau setara dengan 7,44 CO<sub>2</sub>e ton/ha (Dharmawan, 2010).

Tabel 6. Biomassa dan cadangan karbon tumbuhan bawah di TNGHS

Table 6. Biomass and C stock of understorey in TNGHS

Lokasi <i>Location</i>	Kerapatan tajuk <i>Canopy density</i>	Sumber karbon <i>Carbon pool</i>	Biomassa (ton/ha) <i>Biomass</i> (tonnes/ha)	Biomassa rata-rata (ton/ha) <i>Average</i> <i>biomass</i> (tonnes/ha)	Cadangan karbon/plot (tonC/ha) <i>Average C</i> <i>stock/plot</i> (tonC/ha)	Cadangan karbon rata- rata (tonC/ha) <i>Average C stock</i> (tonC/ha)
Cikaniki	Tinggi	Tumbuhan Bawah	1,992		0,996	
Cikaniki	Tinggi	Tumbuhan Bawah	1,672		0,836	
Cikaniki	Tinggi	Tumbuhan Bawah	0,915		0,458	
Kawah Ratu	Tinggi	Tumbuhan Bawah	1,277		0,639	
Kawah Ratu	Tinggi	Tumbuhan Bawah	1,56		0,78	
Kawah Ratu	Tinggi	Tumbuhan Bawah	3,52	2,177	1,76	1,090
Gn. Bedil	Tinggi	Tumbuhan Bawah	1,39		0,7	
Gn. Bedil	Tinggi	Tumbuhan Bawah	1,92		0,96	
Gn. Bedil	Tinggi	Tumbuhan Bawah	3,72		1,86	
Rasamala	Tinggi	Tumbuhan Bawah	2,24		1,12	
Rasamala	Tinggi	Tumbuhan Bawah	1,19		0,6	
Rasamala	Tinggi	Tumbuhan Bawah	1,85		0,93	
Damar	Tinggi	Tumbuhan Bawah	0,38		0,19	
Damar	Tinggi	Tumbuhan Bawah	8,16		4,08	
Damar	Tinggi	Tumbuhan Bawah	0,87		0,44	

Tabel 6. *Lanjutan*  
Table 6. *Continued*

Lokasi <i>Location</i>	Kerapatan tajuk <i>Canopy density</i>	Sumber karbon <i>Carbon pool</i>	Biomassa (ton/ha) <i>Biomass</i> (tonnes/ha)	Biomassa rata-rata (ton/ha) <i>Average</i> <i>biomass</i> (tonnes/ha)	Cadangan karbon/plot (tonC/ha) <i>Average C</i> <i>stock/plot</i> (tonC/ha)	Cadangan karbon rata- rata (tonC/ha) <i>Average C stock</i> (tonC/ha)
Cikaniki	Rendah	Tumbuhan Bawah	3,248		1,624	
Cikaniki	Rendah	Tumbuhan Bawah	2,432		1,216	
Cikaniki	Rendah	Tumbuhan Bawah	5,684		2,842	
Kawah Ratu	Rendah	Tumbuhan Bawah	6,708		3,354	
Kawah Ratu	Rendah	Tumbuhan Bawah	6,192	5,702	3,096	2,852
Kawah Ratu	Rendah	Tumbuhan Bawah	3,648		1,824	
Gn. Bedil	Rendah	Tumbuhan Bawah	2,99		1,5	
Gn. Bedil	Rendah	Tumbuhan Bawah	17,62		8,81	
Gn. Bedil	Rendah	Tumbuhan Bawah	2,8		1,4	
RATA-RATA				3,940		1,971

### 5. Cadangan Karbon Total Dalam Plot

Perhitungan cadangan karbon tegakan total dalam plot pengukuran dilakukan dengan menghitung seluruh cadangan karbon dari biomassa di atas permukaan tanah, biomassa di bawah permukaan tanah, tumbuhan bawah dan nekromas (Tabel 7).

Hasil perhitungan cadangan karbon total dalam plot penelitian TNGHS (Tabel 7) menunjukkan bahwa biomassa dan cadangan karbon tegakan pada hutan primer dengan kerapatan tajuk yang tinggi cenderung lebih tinggi apabila dibandingkan dengan biomassa dan cadangan karbon pada hutan primer dengan kerapatan tajuk yang rendah. Taman Nasional Gunung Halimun Salak (TNGHS) sebagai salah satu kawasan hutan alam yang masih utuh memiliki potensi yang sangat besar sebagai

penyerap karbon dan telah dibuktikan dari hasil penelitian ini dengan memiliki potensi simpanan karbon tegakan di atas permukaan sebesar 139,326 tonC/ha, di bawah permukaan sebesar 39,011 tonC/ha, tumbuhan bawah sebesar 1,971 tonC/ha dan nekromas sebesar 5,77 tonC/ha. Secara keseluruhan, biomassa dan cadangan karbon tegakan rata-rata di hutan primer di TNGHS secara berturut turut adalah sebesar 364,503 ton/ha dan 185,177 tonC/ha.

Berdasarkan analisis cadangan karbon tegakan di Taman Nasional Gunung Halimun Salak menunjukkan bahwa persentase terhadap total cadangan karbon tegakan dari yang terbesar sampai yang terkecil berturut-turut adalah biomassa di atas permukaan tanah (75,2%), biomassa di bawah permukaan (21,1%), nekromas

Tabel 7. Cadangan karbon total dalam plot penelitian TNGHS  
*Table 7. Total C stock of all carbon pools in TNGHS*

Tipe hutan <i>Forest type</i>	Pool Karbon <i>Carbon Pool</i>	Biomassa (ton/ha) <i>Biomass</i> (tonnes/ha)	Cadangan Karbon (tonC/ha) <i>C stock (tonC/ha)</i>	Persentase terhadap total cadangan karbon (%) <i>Percentage to total C stock</i> (%)
Hutan Primer Kerapatan Tinggi	Biomassa Atas Permukaan	385,933	185,813	75,3
	Biomassa Bawah Permukaan	108,061	52,028	21,1
	Tumbuhan Bawah	2,177	1,090	0,4
	Nekromas (dbh < 5 cm)	0,973	0,486	0,2
	Nekromas (dbh > 5 cm)	16,614	7,980	3,2
	TOTAL	512,785	246,911	
Hutan Primer Kerapatan Rendah	Biomassa Atas Permukaan	169,033	92,839	74,4
	Biomassa Bawah Permukaan	47,329	25,995	20,8
	Tumbuhan Bawah	5,702	2,852	2,3
	Nekromas (dbh < 5 cm)	2,632	1,318	1,1
	Nekromas (dbh > 5 cm)	3,854	1,758	1,4
	TOTAL	228,550	124,762	
Rata-rata	Biomassa Atas Permukaan	277,483	139,326	75,2
	Biomassa Bawah Permukaan	77,695	39,011	21,1
	Tumbuhan Bawah	3,940	1,971	1,1
	Nekromas (dbh < 5 cm)	1,803	0,902	0,5
	Nekromas (dbh > 5 cm)	3,582	4,869	2,6
	TOTAL	364,503	185,177	

dengan DBH > 5 cm (2,6%), tumbuhan bawah (1,1%) dan nekromas dengan DBH < 5 cm (0,5%). Hal ini hampir sama dengan persentase cadangan karbon tegakan pada lokasi hutan di daerah tanah mineral sebagaimana yang dilaporkan oleh IPCC (2006) yang menyebutkan bahwa biomassa di atas permukaan tanah menempati porsi 70%, biomassa di bawah permukaan tanah menempati porsi 20%, tumbuhan bawah menempati porsi 2% dan nekromas menempati porsi 5%.

Hasil analisis GIS (*Geographic Information System*) dari tutupan hutan di kawasan TNGHS menunjukkan luas hutan total di kawasan TNGHS sebesar 69.394,976 ha. Berdasarkan hasil analisis GIS, maka potensi cadangan karbon tegakan (biomassa di atas permukaan, biomassa di bawah permukaan, tumbuhan bawah dan nekromas) untuk

seluruh luasan hutan di kawasan TNGHS diestimasi sebesar 12.891.504,69 tonC atau 12,89 juta ton C.

Direktorat Jenderal Perlindungan Hutan dan Konservasi Alam (Ditjen PHKA) Kementerian Kehutanan tahun 2007 memperkirakan potensi cadangan karbon TNGHS sebesar 1,7 triliun ton untuk areal seluas 113.357 ha, dimana data tersebut berbeda dengan hasil penelitian yang kami peroleh. Beberapa hal yang dapat menjadi dasar perbedaan tersebut adalah sebagai berikut:

(1) Luas areal yang digunakan oleh Ditjen PHKA berbeda dengan yang digunakan dalam penelitian ini. Ditjen PHKA diduga menggunakan seluruh areal TNGHS (113.357 ha) dalam perhitungan karbonnya dimana didalamnya terdapat banyak tutupan lahan

selain hutan primer, yaitu hutan sekunder dan perkebunan. Namun apabila data tersebut dihitung dengan menggunakan data tutupan lahan Ditjen Planologi tahun 2011, maka diperoleh luas hutan sekunder seluas 48.508,217 ha dan perkebunan seluas 2.295,311 ha. Berdasarkan kedua data tersebut maka cadangan karbon untuk hutan sekunder dan perkebunan adalah sebesar 9.407.645 ton C/ha. Apabila cadangan karbon hutan sekunder dan perkebunan digabungkan dengan cadangan karbon di hutan primer sebesar 12,89 juta ton C/ha (berdasarkan hasil penelitian ini), maka total cadangan karbon (di atas permukaan tanah, bawah permukaan tanah, tumbuhan bawah dan nekromas) di TNGHS diperkirakan sebesar 22.297.645 tonC/ha. Dalam hal ini maka terdapat kecenderungan overestimasi data yang diperoleh dari Ditjen PHKA.

(2) Perbedaan metode yang digunakan dalam penentuan potensi karbon di TNGHS dapat menentukan perbedaan hasil yang diperoleh. Penentuan potensi karbon melalui metode penginderaan jauh (citra satelit) akan berbeda dengan metode perhitungan secara terestris yang mana dilakukan dalam penelitian ini.

Dengan memperhatikan perbedaan kedua hasil tersebut dapat dikatakan bahwa hasil penelitian ini dapat mengoreksi nilai potensi cadangan karbon di Taman Nasional Gunung Halimun Salak.

Apabila dibandingkan dengan taman nasional lainnya seperti TN Gunung Gede Pangrango dan TN Meru Betiri dengan tipe hutan yang hampir sama dengan TNGHS, maka dapat diketahui bahwa TNGHS memiliki cadangan karbon hutan primer yang paling tinggi (185,177 tonC/ha) dibandingkan dengan TN Gunung Gede Pangrango (103,16 ton C/ha-113,2 ton C/ha) dan TN Meru Betiri (135,02-166,63 ton C/ha). Hal ini membuktikan bahwa kawasan TNGHS memiliki potensi karbon yang sangat besar sehingga kelestarian kawasan ini perlu dijaga dan diperhatikan.

### C. Strategi Pengelolaan Cadangan Karbon di TNGHS

Perhitungan cadangan karbon di TNGHS pada tahun 2012 menunjukkan angka yang cukup tinggi yaitu sebesar 12,89 juta ton C. Strategi yang perlu dilakukan untuk menjamin pengelolaan cadangan karbon berkelanjutan di TNGHS adalah:

1. Adanya kepastian kawasan melalui kegiatan tata batas yang dialokasikan untuk monitoring cadangan karbon (keseluruhan areal TNGHS atau sebagian areal kawasan yang dijadikan lokasi proyek monitoring cadangan karbon).
2. Perlu adanya kerjasama dari berbagai instansi seperti Pemerintah Daerah, Kepolisian, universitas, LSM dan warga setempat untuk mencegah terjadinya perambahan hutan yang lebih luas terlebih dengan maraknya penambangan emas ilegal di dalam wilayah TNGHS.
3. Perlu adanya insentif dari Pemerintah dan organisasi lainnya terkait pelibatan masyarakat dalam berbagai kegiatan TNGHS (monitoring cadangan karbon dan konservasi hutan) serta pemberdayaan masyarakat di sekitar TNGHS. Hal ini perlu dilakukan untuk menciptakan sumber pendapatan alternatif bagi masyarakat setempat sehingga ketergantungan akan penambangan emas ilegal dalam kawasan hutan dapat dicegah.
4. Perlu dilakukan peningkatan cadangan karbon melalui kegiatan rehabilitasi kawasan konservasi terutama di areal bekas penambangan ilegal yang ditemukan di dalam areal kawasan TNGHS
5. Perlu segera dikeluarkan regulasi dan peraturan/perundangan-undangan yang tegas mengenai status kawasan hutan serta RTRWP yang memperhatikan konservasi TNGHS. Melalui Peraturan Pemerintah No. 28 Tahun 2011 tentang Pengelolaan KSA dan KPA, serta dengan ditetapkannya TNGHS sebagai Pusat Konservasi Keanekaragaman Hayati, maka Pemerintah berharap penetapan ini dapat mendorong penyelesaian permasalahan degradasi, pemukiman liar dan perambahan yang cukup luas di TNGHS (Sambutan Menteri Kehutanan di Pongkor, 23 April 2013).
6. Dalam rangka mengkonservasi cadangan karbon yang sangat besar di Taman Nasional Gunung Halimun Salak diperlukan upaya Pengelola TNGHS untuk menjadikan TNGHS sebagai lokasi *Demonstration Activities REDD+*. Hal ini merujuk pada Peraturan Menteri Kehutanan No. P 7/ 2012 tentang Tata Cara Permohonan dan Penilaian Registrasi serta Penyelenggaraan *Demonstration Activities REDD+* di Hutan Konservasi.



## IV. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Persamaan alometrik yang dikembangkan oleh Chave *et. al.* (2005) adalah yang paling mendekati biomassa di lapangan sehingga dapat digunakan untuk menduga biomassa atas permukaan di hutan primer di Taman Nasional Gunung Halimun Salak. Persamaan Chave dibangun berdasarkan diameter tanaman yang berkisar antara 5 cm-138 cm dari beberapa negara tropis termasuk Indonesia sehingga persamaan ini sangat baik untuk digunakan di TNGHS.
2. Hutan primer dengan kerapatan tajuk tinggi memiliki biomassa dan cadangan karbon tegakan total yang lebih tinggi dibandingkan dengan hutan primer dengan kerapatan tajuk rendah.
3. Taman Nasional Gunung Halimun Salak (TNGHS) sebagai salah satu kawasan hutan alam yang masih utuh memiliki potensi yang sangat besar sebagai penyerap karbon dan telah dibuktikan dari hasil penelitian ini dengan memiliki potensi simpanan karbon tegakan di atas permukaan sebesar 139,326 tonC/ha, di bawah permukaan sebesar 39,011 tonC/ha, tumbuhan bawah sebesar 1,971 tonC/ha dan nekromas sebesar 5,77 tonC/ha.
4. Biomassa dan cadangan karbon tegakan rata-rata di hutan primer di TNGHS secara berturut-turut adalah sebesar 364,503 ton/ha dan 185,177 tonC/ha.
5. Strategi pengelolaan cadangan karbon perlu memperhatikan berbagai faktor sebagai berikut: (1) penetapan zonasi pengelolaan kawasan TNGHS, (2) adanya kerjasama dengan berbagai sektor untuk mencegah terjadinya perambahan hutan, (3) adanya insentif dari Pemerintah dan instansi terkait untuk pemberdayaan masyarakat di sekitar hutan, (4) dilakukannya restorasi dan rehabilitasi kawasan terdegradasi dalam TNGHS dan (5) diterbitkannya regulasi (*law enforcement*) yang menjamin kepastian kawasan TNGHS.

### B. Saran

Saran-saran yang dapat disampaikan sebagai tindak lanjut hasil penelitian adalah sebagai berikut:

1. Untuk meningkatkan keakurasian pendugaan potensi biomassa dan cadangan karbon di seluruh kawasan TNGHS perlu dilakukan stratifikasi lapangan yang lebih detil dan melakukan sampling untuk seluruh tipe tutupan lahan yang ada di TNGHS dan perlu dibangun persamaan alometrik biomassa yang khusus untuk TNGHS dengan metode non-destruktif.
2. Perlu dibangun petak ukur permanen dan *database* untuk pengukuran karbon di TNGHS agar monitoring potensi karbon dapat dilakukan secara periodik.
3. Perlu dirumuskan model kelembagaan yang bertanggungjawab untuk melaksanakan kegiatan *Monitoring, Reporting and Verification* (MRV) di tingkat tapak Taman Nasional Gunung Halimun Salak agar cadangan karbon yang ada bisa termonitor dengan baik secara berkala.

### Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada pihak Taman Nasional Gunung Halimun Salak yang telah memberikan izin atas terlaksananya penelitian, kepada Ir. Ari Wibowo, M.Sc. selaku ketua RPI Pengembangan Emisi GRK Kehutanan, serta kepada para teknisi yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian ini di lapangan.

### DAFTAR PUSTAKA

- Brown, S. (1997). *Estimating biomass and biomass change of tropical forest. A Primer*. USA : FAO.
- Chave, J, Andalo, E.C, Brown, E.S, Cairns, M.A, Chambers, J.Q, Eamus, E.D, Folster, E.H, Fromard, E.F, Higuchi, N, Kira, E.T, Lescure, E.J.P, Nelson, E.B.P, Ogawa, H, Puig, E.H, Riera, E.B, Yamakura, E.T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145 (1) : 87-99. doi 10.1007/s00442-005-0100-x.
- Dharmawan, I. W. S. (2010). *Estimation of aboveground biomass carbon stock in project plot of Conservation International-Daikin at Nagrak Resort, Gede Pangrango National Park*. Jakarta, Indonesia: Conservation International and Daikin.

- Dharmawan, I. W. S., V. B. Arifanti, A. Wibowo and N. D. Atmojo. (2011). *Analysis of land use, land cover change and the association carbon stock change to establish project baseline*. Bogor, Indonesia : Center for Climate Change and Policy Research and Development.
- Hairiah, K dan Rahayu. S. (2007). *Petunjuk praktis pengukuran karbon tersimpan di berbagai macam penggunaan lahan*. Bogor, Indonesia: ICRAF Southeast Asia.
- Haryadi. (2005). Kajian potensi cadangan karbon pada pertanaman teh (*Camelia sinensis* L.) dan berbagai penggunaan lahan di kawasan Taman Nasional Gunung Halimun, Kecamatan Nanggung, Kabupaten Bogor. Disertasi Tidak Diterbitkan. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- IPCC. (2006). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds) IGES. Japan: IGES.
- Japan International Cooperation Agency. (2002). *Demonstration study on carbon fixing forest management project. Progress report of the project 2001-2002*. Indonesia : JICA
- Ketterings, Q. M., R. Coe, M. van Noordwijk, Y. Ambagau dan C. Palm. (2001). Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management* 146 (1-3) : 199-209. Diakses dari <http://www/icraf.org/sea/Publications/files/journal/JA0146-04.pdf>.
- Letouzey, R. (1985). *Notice de la cartephytogéographique du Cameroun au 1:500000 (198.5). M-SM: Région afro-montagnarde et étage submontagnard*. Toulouse, France: Institut de la carte internationale de la végétation.
- MacDicken, K.G. (1997). *A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects*. Washington DC, USA: Winrock International Institute for Agricultural Development.
- Mansur, M., N. Hidayati dan T. Juhaeti. (2011). Struktur dan komposisi vegetasi pohon serta estimasi biomassa, kandungan karbon dan laju fotosintesis di Taman Nasional Gunung Halimun Salak. *Jurnal Teknologi Lingkungan* 12(2):161-169.
- Marina, I. dan A.H. Dharmawan. (2011). Analisis konflik sumberdaya hutan di kawasan konservasi. *Jurnal Transdisiplin Sosiologi, Komunikasi, dan Ekologi Manusia* 5(1):90-96.
- Kementerian Kehutanan RI. (2003). Surat Keputusan Menteri Kehutanan Nomor 175 Tahun 2003 tentang Penunjukan Kawasan Hutan Halimun dan Salak sebagai Taman Nasional Gunung Halimun-Salak. Jakarta, Indonesia : Kementerian Kehutanan RI.
- Morikawa, Y. (2002). *Biomass Measurement in Planted Forest In and Around Benakat, Fiscal Report of Assessment on The Potentiality of Reforestation and Afforestation Activities in Mitigating the Climate Change 2001* (pp. 58-63. Tokyo, Japan: JIFRO.
- Nelson, B.W., R. Mesquita, J.L.G. Periera, S.G.A. De Souza, G.T. Batista and L.B. Couto. (1999). Allometric Regressions for Improved Estimate Central Amazon. *Forest Ecology and Management* 117, 149-167.
- Palace, M., M. Keller, H. Silva. (2008). Necromass production: studies in undisturbed and logged Amazon Forests. *Ecological Applications* 18, 873-884.
- Menteri Kehutanan. Sambutan Meteri Kehutanan pada Acara finalisasi dan realisasi masterplan pusat konservasi keanekaragaman hayati (PPKH). Pongkor, 23 April 2013. Diakses dari [http://ppid.dephut.go.id/pidato\\_kemenhut/browse/25](http://ppid.dephut.go.id/pidato_kemenhut/browse/25).
- Santili, M., P. Moutinho, S. Schwartzman, D. Nepstad, L. Curran and C. Nobre. (2005). Tropical deforestation and the Kyoto Protocol. *Climatic Change* 71, 267-276. doi: 10.1007/s10584-005-8074-6.
- Siregar, C. A. (2007). Potensi serapan karbon di Taman Nasional Gede Pangrango, Cibodas, Jawa Barat. *Info Hutan* 4 (3) : 233-244.
- Siregar, C. A. dan I. W. S. Dharmawan. (2009). Sintesa hasil-hasil penelitian jasa hutan sebagai penyerap karbon. Bogor, Indonesia :

Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan dan Konservasi Alam.

SNI 7724. (2011). *Pengukuran dan penghitungan cadangan karbon: Pengukuran lapangan untuk penaksiran cadangan karbon hutan (ground based forest carbon accounting)*. Jakarta, Indonesia: BSN.

Van Steenis, C.G.G.J. 1972. *The mountain flora of Java*. Leiden, the Netherlands: Brill Publisher. Dinas Kehutanan Provinsi Jawa Barat. (n.d).

<http://dishut.jabarprov.go.id/?mod=detailBerita&idMenuKiri=334&idBerita=142>.