

Estimasi Cadangan Karbon Tersimpan pada Perkebunan Teh di Tiga Ketinggian Tempat

Estimated Stored Carbon Stock in Tea Plantation at Three Elevations

Nana Heryana dan Dewi Nur Rokhmah

Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar, Jalan Raya Pakuwon Km 2, Parungkuda, Sukabumi 43357 Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima: 13 Juli 2021
Disetujui: 30 Oktober 2021
Dipublikasi online: 17
November 2021

Kata Kunci:

Biomassa tanaman
Camellia sinensis
Mitigasi perubahan iklim
Serapan karbon dioksida
Inventarisasi gas rumah kaca

Keywords:

Camellia sinensis
Carbon dioxide absorption
Climate change mitigation
Plant biomass
Greenhouse gas inventory

Diriwayatkan oleh:

Maswar, Setiari Marwanto

Abstrak. Tanaman teh merupakan tanaman perkebunan yang telah dibudidayakan secara luas di Indonesia dan memberikan potensi sebagai penyerap gas karbon dioksida (CO₂). Namun potensi penyerapan karbon pada berbagai ketinggian tempat penanaman teh belum banyak diketahui. Tujuan penelitian adalah untuk memperkirakan cadangan karbon, dan serapan CO₂ perkebunan teh tua berumur sekitar 45 tahun pada beberapa ketinggian tempat. Penelitian dilaksanakan di kebun PTPN VIII di afdeling Parakan Salak, Sukabumi, Jawa Barat dan Laboratorium Terpadu, Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar, Sukabumi, Jawa Barat pada bulan Maret 2018. Penelitian dilaksanakan menggunakan metode survei dan pengamatan tanaman contoh pada tiap ketinggian dengan cara *purposive random sampling*. Pengambilan data dilakukan pada ketinggian 535, 737, dan 867 m di atas permukaan laut (dpl). Hasil penelitian menunjukkan bahwa cadangan karbon tanaman teh pada ketinggian 535, 737, 867 m dpl secara berturut-turut adalah 68, 64, dan 31 t ha⁻¹, atau setara dengan serapan karbon dioksida secara berturut-turut 251, 234, dan 115 t ha⁻¹. Cadangan karbon tanah berturut-turut adalah 76, 72, dan 60 t ha⁻¹, sedangkan cadangan karbon serasah tanaman teh masing-masing 0,7; 0,4; dan 0,8 t ha⁻¹. Hasil penelitian ini menyumbangkan faktor emisi perkebunan teh tua untuk inventarisasi gas rumah kaca.

Abstract. Tea plant is a plantation crop that has been widely cultivated in Indonesia and provides a potential as a carbon dioxide absorption. However, the potential for carbon dioxide (CO₂) absorption at various elevations where tea is grown is not widely known. The research objective was to estimate carbon stock and CO₂ uptake of tea plantation at several planting elevations. The research was conducted at the PTPN VIII plantation in Parakan Salak afdeling, Sukabumi, West Java and the Integrated Laboratory, Indonesian Industrial and Beverage Crops Research Institute, Sukabumi, West Java in March 2018. The research was carried out using a survey method and observation of sample plants at each elevation was conducted by purposive random sampling method. Data were collected at elevations of 535, 737, and 867 m above sea level (asl) on mature plantation. The results showed that the carbon stocks of tea plants at elevations of 535, 737, 867 m asl were 68, 64, and 31 t ha⁻¹, respectively. These are equivalent with 251, 234, and 115 t ha⁻¹ absorption of carbon dioxide by tea plantations, from the respective elevations. At the respective elevation, soil carbon stocks were 76, 72, and 60 t ha⁻¹, while tea plant litter carbon stocks (necromass) were 0.7; 0.4; and 0.8 t ha⁻¹. This research result may contribute to the emission factor of mature tea plantation of the national greenhouse gas inventory.

Pendahuluan

Pemanasan global menyebabkan peningkatan suhu udara rata-rata yang memicu terjadinya perubahan iklim dunia. Pemanasan global disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi gas-gas rumah kaca yang dihasilkan dari aktivitas manusia terutama penggunaan energi bahan bakar, kegiatan alih tataguna lahan dan kehutanan (Pratama dan Parinduri 2019). Emisi gas rumah kaca yang paling besar adalah karbon dioksida (CO₂). Konsentrasi karbon dioksida dan gas rumah kaca lainnya yang terus meningkat menyebabkan pemanasan global dan perubahan iklim (Ahuja *et al.* 2010; Watson *et al.* 2000). Oleh sebab

itu diperlukan upaya untuk menanggulangi perubahan iklim global, salah satunya dengan cara menurunkan emisi karbon dioksida di atmosfer. Emisi karbon dioksida di atmosfer dapat diturunkan melalui kegiatan antara lain pengelolaan tanaman tahunan dengan baik (Uthbah *et al.*, 2017; Oktaviona *et al.*, 2017).

Pengurangan laju pemanasan global melalui penyerapan karbon dioksida di atmosfer oleh tanaman tahunan menjadi alternatif untuk mengurangi perubahan iklim, yaitu dengan konservasi hutan dan penghutanan melalui tanaman tahunan (Hairiah dan Rahayu 2007). Sistem penggunaan lahan berbasis tanaman tahunan memiliki kapasitas yang relatif tinggi untuk menangkap

* Corresponding author: dewi.nur.rokhmah@gmail.com

dan menyimpan karbon dioksida di atmosfer dalam vegetasi, tanah, dan biomassa tanaman (Nair 2011). Tanaman perkebunan memiliki peran penting dalam menyerap karbon dioksida dan penyimpanan karbon dalam biomassa tanaman dan tanah. Hal ini menjadikan penanaman tanaman perkebunan sebagai strategi potensial untuk mitigasi perubahan iklim (Shirima *et al.* 2015; Agus *et al.* 2009). Kandungan karbon pada tanaman menggambarkan berapa besar tanaman tersebut dapat mengikat karbon dioksida dari udara yang diserap melalui proses fotosintesis. Sebagian karbon akan menjadi energi untuk proses fisiologi tanaman, dan sebagian akan tersimpan dalam biomassa tanaman (Bismark, Subiandono, dan Heriyanto 2008; Rinjani, Setyaningsih, dan Rusli 2018).

Teh merupakan salah satu komoditas perkebunan yang dikembangkan secara luas di Indonesia. Luas lahan penanaman teh di Indonesia pada tahun 2018 mencapai 109.936 ha (Direktorat Jenderal Perkebunan 2019). Tanaman teh merupakan salah satu tanaman perkebunan yang mampu mengurangi karbon dioksida di udara. Tanaman teh menyerap karbon dioksida dari udara dalam proses fotosintesis, kemudian menyimpannya dalam bentuk biomassa yang tersebar di akar, batang, dan daun, maupun pada serasah (Pramanik dan Phukan 2020; Rokmah, Wibowo, dan Supriadi 2016; Pang *et al.* 2019). Hasil penelitian yang dilakukan di perkebunan Pagilaran menunjukkan bahwa cadangan karbon tanaman teh rata-rata 32,87 ton C/ha (Hardjo *et al.*, 2014). Hasil penelitian lain menunjukkan rerata cadangan karbon perkebunan teh di Cina pada kisaran 28,02-31,31 ton C/ha (Zhang *et al.* 2013).

Perkebunan teh di Indonesia berdasarkan ketinggian tempat dibagi menjadi 3, yaitu perkebunan daerah rendah pada ketinggian <800 m dpl dengan suhu rata-rata 23,86°C, perkebunan daerah sedang pada ketinggian 800–1.200 m dpl dengan suhu rata-rata 21,24°C, dan perkebunan daerah tinggi pada ketinggian 1.200 m dpl dengan suhu rata-rata 18,98°C (Effendi *et al.* 2010). Ketinggian tempat merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman teh. Suhu yang berbeda pada setiap ketinggian akan mempengaruhi proses fisiologi tanaman teh. Semakin tinggi tempat maka suhu semakin rendah dan proses metabolisme tanaman teh akan berjalan semakin lambat (Ayu, Indradewa, dan Ambarwati 2012). Beberapa faktor yang berpengaruh terhadap cadangan karbon di areal perkebunan atau kawasan hutan adalah ketinggian tempat, kekayaan spesies, dan kerapatan tanaman (Pragasan 2020), selain itu juga topografi, suhu, curah hujan, serta praktik

pengelolaan yang diterapkan (Sharma *et al.* 2016). Hasil penelitian Yohannes *et al.* (2015) juga menunjukkan bahwa penyerapan karbon di suatu ekosistem hutan ditentukan oleh gradien ketinggian lokasi.

Sehubungan dengan semakin tingginya tempat penanaman, diperkirakan mempengaruhi biomassa tanaman teh dan pada akhirnya mempengaruhi stok karbon yang tersimpan. Oleh sebab itu penelitian bertujuan mengestimasi cadangan karbon dan serapan CO₂ tanaman teh pada beberapa ketinggian tempat penanaman.

Bahan dan Metode

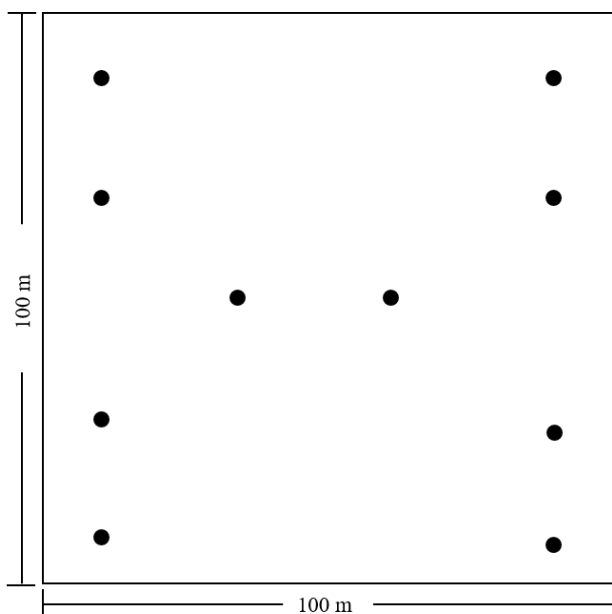
Penelitian dilaksanakan di kebun PTPN VIII di Parakan Salak, Sukabumi, Jawa Barat dan Laboratorium Terpadu, Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar, Sukabumi, Jawa Barat pada bulan Maret 2018. Bahan penelitian adalah tanaman teh klon TRI berumur ±45 tahun, yang ditanam pada ketinggian 535 m dpl (6°48'19.7"S 106°43'04.6"E), 737 m dpl (6°47'11.4"S 106°42'04.2"E), dan 867 m dpl (6°46'29.1"S 106°42'49.1"E) (Gambar 1), jenis tanah Andisol.



Gambar 1. Titik koordinat lokasi pengambilan contoh tanaman teh di perkebunan teh PTPN VIII, Parakan Salak, Sukabumi, Jawa Barat

Figure 1. Coordinates of tea plant sampling locations at PTPN VIII tea plantation, Parakan Salak, Sukabumi, West Java

Penelitian dilaksanakan menggunakan metode observasi lapangan dan penentuan tanaman contoh pada tiap ketinggian tempat dilakukan dengan teknik *purposive random sampling*. Pengambilan data dilakukan pada masing-masing ketinggian 535, 737, 867 m dpl, dan pada tiap ketinggian terdiri dari 10 tanaman contoh pada luasan plot *sampling* 1 ha (Gambar 2), dengan populasi tanaman teh 10.000 pohon/ha.



Gambar 2. Denah titik pengambilan contoh tanaman teh dalam luasan 1 ha

Figure 2. Map of sampling points for tea plants in an area of 1 ha

Pengukuran Biomassa Tanaman Teh

Pengukuran biomassa tanaman teh dilakukan dengan metode destruktif, yaitu membongkar seluruh bagian tanaman teh, berupa batang, daun, dan akar. Tanaman teh yang telah dibongkar kemudian ditimbang berat basah total semua bagian tanaman. Kemudian diambil dan ditimbang berat basah contoh sebanyak ±300 gram (campuran batang, daun, dan akar). Contoh tanaman dikeringkan dalam oven hingga mencapai berat konstan (85°C selama 48 jam), kemudian ditimbang berat keringnya, dan dihitung persen kadar air contoh dan karbon organik.

$$\% \text{ KA} = \frac{BBc - BKc}{BKc} \times 100\%$$

Keterangan:

% KA = persen kadar air contoh

BBc = Berat basah contoh (kg)

BKc = Berat kering contoh (kg)

Persen kadar air contoh digunakan untuk menghitung berat kering total (biomassa) tanaman teh. Biomassa tanaman teh dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$BK = BB - (BS \times \% \text{ KA})$$

Selanjutnya biomassa tanaman teh dalam luasan 1 hektar diperoleh dengan mengalikan BK dengan jumlah populasi tanaman teh, yaitu 10.000 pohon/ha.

Keterangan:

BK = Berat kering total (biomassa) (kg)

BS = Berat segar total tanaman (kg)

% KA = Persen kadar air contoh

Pengukuran Karbon Biomassa Tanaman Teh dan Serasah

Kandungan karbon setiap contoh tanaman teh dihitung dengan rumus yang mengacu pada BSN (2011) sebagai berikut:

$$Cb = B \times \% \text{ C organik}$$

Selanjutnya total karbon tanaman teh dalam luasan 1 hektar diperoleh dengan mengalikan Cb dengan jumlah populasi tanaman teh, yaitu 10.000 pohon/ha.

Keterangan:

Cb = Kandungan karbon dari biomassa tanaman teh (kg)

B = Total biomassa (kg)

% C organik = Persentase karbon yang diperoleh dari hasil pengukuran di laboratorium

Serasah meliputi bagian tanaman teh yang telah gugur berupa daun dan ranting-ranting yang terletak di permukaan tanah tetapi belum mengalami dekomposisi. Contoh serasah diambil pada plot berukuran 1 m x 1 m di bawah tajuk tanaman teh, kemudian ditimbang berat segarnya. Setelah itu contoh serasah dioven pada suhu 85°C selama 48 jam untuk ditentukan bobot keringnya dan juga dihitung persen karbonnya. Penghitungan karbon serasah menggunakan rumus sebagai berikut (BSN 2011):

$$Cs = Bs \times \% \text{ C organik}$$

Selanjutnya total kandungan karbon serasah per hektar pada plot pengukuran dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut (BSN 2011):

$$C_{\text{serasah}} = \frac{Cs}{1000} \times \frac{10.000}{L_{\text{plot}}}$$

Keterangan:

Cs = Kandungan karbon organik serasah (kg)

Bo = Bobot kering serasah (kg)

% C organik = Persentase karbon yang diperoleh dari hasil pengukuran di laboratorium

Lplot = Luasan plot pengambilan sampel serasah

Pengukuran Karbon Organik Tanah

Pengambilan contoh tanah pada kedalaman 0-30 cm pada setiap plot *sampling* pada tiap ketinggian. Contoh tanah pada seluruh plot *sampling* di setiap ketinggian dikomposit, sehingga pada tiap ketinggian hanya ada 1 sampel tanah hasil komposit yang dibawa ke laboratorium. Pengukuran kadar C organik tanah menggunakan metode Walkley and Black. Penghitungan kandungan karbon tanah menggunakan rumus yang mengacu pada BSN (2011) sebagai berikut:

$$C_t = K_d \times \rho \times \% \text{ C organik tanah}$$

Selanjutnya kandungan karbon organik tanah per hektar dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (BSN 2011):

$$C \text{ tanah} = C_t \times 100$$

Keterangan:

C_t = Kandungan karbon tanah (g/cm^2)

K_d = Kedalaman contoh tanah (cm)

ρ = Bulk density ($0,63 \text{ g}/\text{cm}^3$) (Wibisono 2016)

% C organik tanah = Persen karbon yang diperoleh dari hasil pengukuran di laboratorium

C_{tanah} = Kandungan karbon organik tanah per hektar (t ha^{-1})

100 = Faktor konversi dari g/cm^2 ke t ha^{-1}

Pengukuran Serapan Gas Karbon Dioksida (CO_2)

Pengukuran serapan gas karbon dioksida menggunakan rumus yang mengacu pada Bismark, Subiandono, dan Heriyanto (2008).

$$\text{Serapan } \text{CO}_2 = \frac{\text{berat molekul relatif } \text{CO}_2}{\text{berat atom relatif C}} \times \text{kandungan karbon tanaman teh}$$

Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan uji beda dua rata-rata *t-student* pada taraf 5% dan 1%. Selain itu, dilakukan analisis korelasi *pearson* antara ketinggian tempat dengan biomassa, cadangan karbon, dan serapan karbon dioksida tanaman teh, serta cadangan karbon serasah. Semua analisis data dilakukan menggunakan program SPSS versi 16.0. Sebagai data tambahan,

dilakukan pengamatan suhu minimum dan maksimum menggunakan *digital temperature humidity*.

Hasil dan Pembahasan

Biomassa, Cadangan Karbon, dan Serapan Karbon Dioksida Tanaman Teh, serta Cadangan Karbon Serasah pada Berbagai Ketinggian Tempat

Hasil analisis menunjukkan bahwa biomassa, cadangan karbon, dan serapan karbon dioksida tanaman teh pada ketinggian 535 m dpl tidak berbeda nyata dengan ketinggian 737 m dpl. Sedangkan biomassa, cadangan karbon, dan serapan karbon dioksida tanaman teh pada ketinggian 867 m dpl sangat nyata lebih rendah dibanding pada ketinggian 535 m dpl dan nyata lebih rendah dibanding pada ketinggian 737 m dpl. Rata-rata biomassa tanaman teh pada ketinggian 535, 737, 867 m dpl secara berturut-turut adalah $123,43 \text{ t ha}^{-1}$, $114,50 \text{ t ha}^{-1}$, dan $56,17 \text{ t ha}^{-1}$. Rata-rata cadangan karbon tanaman teh pada ketinggian 535, 737, 867 m dpl secara berturut-turut adalah $68, 64 \text{ t ha}^{-1}$, dan 31 t ha^{-1} . Sedangkan rata-rata serapan karbon dioksida tanaman teh pada ketinggian 535, 737, 867 m dpl secara berturut-turut adalah 251, 234, dan 115 t ha^{-1} (Tabel 1).

Cadangan karbon dan serapan karbon tanaman teh meningkat sejalan dengan peningkatan biomassa tanaman teh. Hal ini sejalan dengan pernyataan Setiawan *et al.* (2016) dan Oktaviona *et al.* (2017) yang menyebutkan bahwa besar kecilnya cadangan karbon dalam tanaman bergantung pada biomassa yang terkandung pada tanaman tersebut. Hasil penelitian Lestariningsih *et al.* (2018) pada tanaman mangrove juga menunjukkan bahwa cadangan karbon tanaman mangrove meningkat seiring dengan meningkatnya biomassa tanaman. Demikian juga hasil penelitian Yuliasmara *et al.* (2009) pada tanaman kakao menunjukkan bahwa karbon tersimpan berbanding lurus dengan biomassa tanaman. Pramanik dan Phukan (2020) menyebutkan bahwa 50,78% karbon dioksida yang diserap oleh tanaman teh tersimpan dalam biomassa.

Pragasan (2020) mengungkapkan bahwa ketinggian tempat akan mempengaruhi suhu, intensitas cahaya, dan curah hujan, dan faktor-faktor tersebut mempengaruhi stok karbon dalam tanaman. Hasil penelitian (Ayu, Indradewa, dan Ambarwati 2012) menunjukkan pertumbuhan tanaman teh di ketinggian tempat yang lebih rendah akan semakin bagus, ditunjukkan dengan berat daun kering dan klorofil yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan hasil fotosintesis lebih tinggi pada ketinggian tempat yang lebih rendah.

Tabel 1. Rata-rata biomassa tanaman teh, cadangan karbon tanaman teh, cadangan karbon serasah, dan serapan karbon dioksida tanaman teh pada tiga ketinggian tempat

Table 1. Average tea plant biomass, tea plant carbon stock, litter carbon stock, and tea plant carbon dioxide uptake at three elevations

	Rataan pada ketinggian tempat (m dpl)			Hasil uji <i>t student</i> untuk masing-masing pasangan ketinggian tempat		
	535	737	867	535 vs 737	737 vs 867	535 vs 867
Biomassa tanaman teh (ton/ha)	123,43 (39,02)	114,50 (48,84)	56,17 (19,16)	ns	*	**
Cadangan karbon tanaman teh (ton/ha)	68 (21,55)	64 (27,08)	31 (10,63)	ns	*	**
Cadangan karbon serasah (ton/ha)	0,7 (0,10)	0,4 (0,03)	0,8 (0,24)	*	ns	*
Serapan CO ₂ tanaman teh (ton/ha)	251 (79,07)	234 (99,39)	115 (39,00)	ns	*	**

Keterangan : * dan ** masing-masing nyata pada taraf 5% dan 1 %; ns = tidak nyata; angka dalam tanda kurung () adalah standar deviasi

Notes : * and ** significant at 5% and 1% levels respectively; ns = not significant; number in parenthesis () is the standard deviation

Bitu & Gerats (2013); Rosniawaty *et al.* (2018) menyebutkan bahwa tanaman teh yang ditanam di dataran rendah mengalami peningkatan fotosintesis disebabkan peningkatan suhu udara. Perbedaan suhu akibat perbedaan ketinggian tempat akan berpengaruh pada metabolisme tanaman teh. Pada suhu yang lebih tinggi, metabolisme tanaman berlangsung lebih cepat. Pada penelitian ini, perkebunan teh di ketinggian 535 m dpl memiliki suhu minimum 21,33°C dan suhu maksimum 31,63°C. Semakin tinggi lokasi perkebunan teh, suhu semakin turun. Pada ketinggian 737 m dpl suhu minimum 20,12°C dan suhu maksimum 30,42°C, kemudian pada ketinggian 867 m dpl suhu minimum 19,34°C dan suhu maksimum 29,64°C (Tabel 2).

Tabel 2. Rata-rata suhu harian pada lokasi perkebunan teh di tiga ketinggian tempat

Table 2. Average daily temperature at tea plantation at three elevations

Ketinggian tempat (m dpl)	Suhu (°C)	
	Minimum	Maksimum
535	21,33	31,63
737	20,12	30,42
867	19,34	29,64

Serapan karbon dioksida akan besar apabila total biomassa yang ada juga besar, sehingga kandungan karbon juga ikut besar (Oktaviona, Amin, dan Ghalib 2017).

Karbon yang disimpan dalam tubuh tanaman (biomassa) dapat menggambarkan banyaknya karbon dioksida di udara yang telah diserap oleh tanaman teh. Melalui proses fotosintesis, karbon dioksida di udara diserap oleh tanaman dan diubah menjadi karbohidrat, kemudian disebarkan ke seluruh tubuh tanaman dan akhirnya ditimbun dalam tubuh tanaman (Hairiah dan Rahayu 2007; Ahammed *et al.* 2020).

Cadangan karbon serasah pada ketinggian 535 m dpl (0,7 t ha⁻¹) nyata lebih besar dibanding pada ketinggian 737 m dpl (0,4 t ha⁻¹), namun nyata lebih kecil dibanding pada ketinggian 867 m dpl (0,8 t ha⁻¹) (Tabel 1). Hal ini menunjukkan cadangan karbon serasah tanaman teh dengan kenaikan ketinggian tempat pada penelitian ini tidak linear. Cadangan karbon serasah berkaitan dengan banyaknya ranting dan daun gugur di bawah tajuk tanaman teh. Hasil penelitian lain yang dilakukan oleh Sheikh *et al.* (2009) dan Yohannes *et al.* (2015) menunjukkan bahwa akumulasi serasah tanaman dan karbon serasah semakin kecil dengan naiknya ketinggian tempat. Sementara itu hasil penelitian Chang *et al.* (2010) di hutan alam Taiwan menunjukkan semakin tinggi lokasi hutan maka karbon serasah semakin besar.

Analisis Korelasi Ketinggian Tempat, Biomassa, Cadangan Karbon, dan Serapan Karbon Dioksida Tanaman Teh, serta Cadangan Karbon Serasah

Hasil analisis korelasi menunjukkan terdapat hubungan yang sangat nyata antara ketinggian tempat dengan

biomassa, cadangan karbon, dan serapan karbon dioksida tanaman teh, dengan nilai koefisien korelasi secara berurutan adalah -0,589, -0,586, dan -0,586. Sedangkan korelasi antara ketinggian tempat dengan cadangan karbon serasah bernilai 0,234 menunjukkan korelasi antara keduanya tidak nyata (Tabel 3).

Korelasi antara ketinggian tempat dengan biomassa, cadangan karbon, dan serapan karbon dioksida tanaman teh adalah negatif, artinya semakin tinggi ketinggian tempat semakin rendah biomassa, cadangan karbon, dan serapan karbon dioksida tanaman teh. Hal ini sejalan dengan penelitian Yohannes *et al.* (2015) di hutan Gedo, Ethiopia yang menunjukkan ketinggian tempat memiliki korelasi negatif dengan biomassa tanaman dan total karbon. Total karbon tersimpan di hutan Gedo semakin kecil dengan meningkatnya ketinggian tempat. Dalam penelitian lain yang dilakukan oleh Sharma *et al.* (2009) juga ditemukan korelasi negatif antara biomassa tanaman dengan ketinggian tempat. Hasil penelitian Moser, Hertel, dan Leuschner (2007), Sheikh, Kumar, dan Kumar (2012) menunjukkan bahwa penyerapan karbon dioksida oleh tanaman menurun seiring dengan peningkatan ketinggian tempat.

Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa korelasi antara ketinggian tempat dengan cadangan karbon serasah tidak nyata. Hal ini sejalan dengan penelitian Yohannes *et al.* (2015) di hutan Gedo Ethiopia juga menunjukkan tidak terdapat korelasi antara ketinggian tempat dengan biomassa serasah dan cadangan karbon serasah.

Cadangan Karbon Tanah pada Berbagai Ketinggian Tempat

Karbon organik tanah di bawah tanaman teh berasal dari pembusukan daun, ranting, cabang tanaman teh yang telah rontok. Hasil penelitian menunjukkan cadangan karbon tanah dari yang lebih rendah ke lebih tinggi secara

berurutan adalah pada ketinggian 867 m dpl, 737 m dpl, dan 535 m dpl, yaitu secara berurutan 76, 72, dan 60 t ha⁻¹ (Gambar 3). Perbedaan cadangan karbon tanah pada tiap ketinggian disebabkan perbedaan kandungan C organik tanah, yang masing-masing pada tiap ketinggian dari hasil uji laboratorium adalah 4,01; 3,79, dan 3,19. Nilai *bulk density* yang digunakan adalah (0,63 g/cm³) berdasarkan hasil penelitian (Wibisono 2016) pada sifat fisik tanah andisol di lahan perkebunan teh. Hasil penelitian cadangan karbon tanah sejalan dengan penelitian Yohannes *et al.* (2015) yang menyebutkan bahwa cadangan karbon tanah di hutan Gedo, Ethiopia berkurang dengan semakin tingginya lokasi hutan. Di wilayah tersebut, karbon tanah sebanyak 35,5% dari total karbon tersimpan yang ada di hutan. Hasil serupa juga disampaikan oleh Sheikh, Kumar, dan Bussmann (2009) di hutan Pinus cadangan karbon tanah menurun dari 141,6 t ha⁻¹ pada 700 m dpl menjadi 124,8 t ha⁻¹ pada 1.100 m dpl.

Semakin naik ketinggian tempat maka cadangan karbon tanah semakin rendah. Esquivel *et al.* (2020) dan Sheikh *et al.* (2012) menyebutkan ketinggian tempat mempengaruhi suhu dan curah hujan. Semakin tinggi tempat maka suhu mengalami penurunan dan curah hujan semakin tinggi. Hal ini mempengaruhi proses dekomposisi bahan organik yang semakin lambat, sehingga menyebabkan rendahnya masukan karbon organik dalam tanah. Hal ini menyebabkan cadangan karbon tanah menurun dengan semakin meningkatnya ketinggian tempat. Sheikh *et al.* (2009) menyebutkan karbon tanah tergantung dari kuantitas dan kualitas serasah tanaman di permukaan tanah, serta laju dekomposisi dari serasah tersebut. Pelepasan hara dari proses dekomposisi serasah akan mendaur ulang karbon dari tanaman ke tanah. Selain itu Sah dan Brumme (2003) menyebutkan bahwa penurunan cadangan karbon tanah juga disebabkan karena karbon organik tanah terkuras lebih cepat pada lokasi yang

Tabel 3. Koefisien korelasi antara ketinggian tempat dengan biomassa, cadangan karbon, dan serapan karbon dioksida tanaman teh, serta cadangan karbon serasah

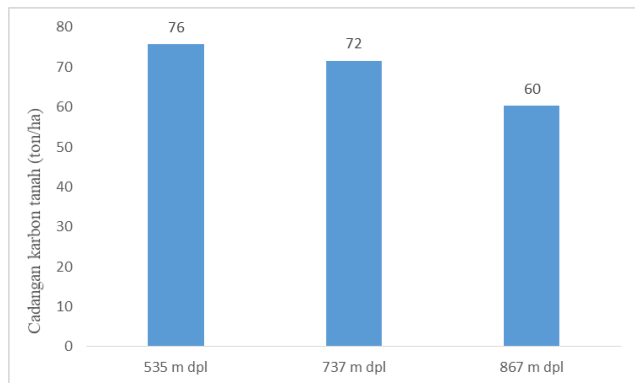
Table 3. Correlation coefficient between elevations and biomass, carbon stock, and carbon dioxide uptake of tea plants, as well as litter carbon stocks

Peubah dalam uji korelasi	Biomassa tanaman teh	Cadangan karbon serasah	Cadangan karbon tanaman teh	Serapan karbon dioksida tanaman teh
Ketinggian tempat	-0,589 **	0,234 ^{ns}	-0,586 **	-0,586 **

Keterangan : * dan ** masing-masing nyata pada taraf 5% dan 1 %; ns = tidak nyata

Notes : * and ** significant at 5% and 1% levels respectively; ns = not significan

lebih tinggi.



Gambar 3. Cadangan karbon tanah di bawah tajuk tanaman teh pada tiga ketinggian tempat

Figure 3. Soil carbon stock understorey of tea plant at three elevations

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa ketinggian tempat mempengaruhi stok karbon pada perkebunan teh, terutama stok karbon pada biomassa tanaman. Cadangan karbon, dan serapan karbon dioksida tanaman teh berkorelasi negatif dengan ketinggian tempat. Cadangan karbon tanah juga mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya ketinggian tempat. Cadangan karbon pada biomassa tanaman teh pada ketinggian 535, 737, 867 m dpl secara berturut-turut adalah 68, 64, dan 31 t ha⁻¹, atau ekuivalen dengan serapan karbon dioksida berturut-turut 251, 234, dan 115 t ha⁻¹. Cadangan karbon tanah berturut-turut adalah 76, 72, dan 60 t ha⁻¹. Cadangan karbon serasah (nekromas) tanaman teh relatif kecil dan kelihatannya tidak terkait dengan ketinggian tempat.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada pimpinan PTPN VIII afdeling Parakansalak yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan penelitian dan Ir. Edi Wardiana, M.Si serta Ir. Handi Supriadi yang telah banyak memberikan saran dalam penulisan naskah ini. Kedua penulis berkontribusi sama sebagai kontributor utama pada artikel ini.

Daftar Pustaka

Agus F, Runtuwuwu E, June T, Susanti E, Komara H, Syahbuddin H, Las I, Noordwijk MV. 2009. Carbon dioxide emission in land use transitions to plantation. *Jurnal Litbang Pertanian*. 28(4).

- Ahammed GJ, Li X, Liu A, Chen S. 2020. Physiological and defense responses of tea plants to elevated CO₂: A review. *Frontiers in Plant Science*. 11:305. doi:10.3389/fpls.2020.00305.
- Ahuja I, de Vos RCH, Bones AM, Hall RD. 2010. Plant molecular stress responses face climate change. *Trends in Plant Science*. 15(12):664–74. doi:10.1016/j.tplants.2010.08.002.
- Ayu L, Indradewa D, Ambarwati E. 2012. Pertumbuhan, hasil dan kualitas pucuk teh (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) di berbagai tinggi tempat. *Vegetalika*. 1(4):78–89. doi:10.22146/veg.1598.
- Bismark M, Subiandono E, Heriyanto NM. 2008. Keragaman dan potensi jenis serta kandungan karbon hutan mangrove di sungai subelen siberut, Sumatera Barat. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*. 5(3):297–306.
- Bitra CE, Gerats T. 2013. Plant tolerance to high temperature in a changing environment: Scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops. *Frontiers in Plant Science*. 4(273). https://doi.org/doi.org/10.389/fpls.2013.00273.
- BSN. 2011. Pengukuran dan Penghitungan Cadangan Karbon-Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan (Ground Based Forest Carbon Accounting). Badan Standardisasi Nasional, Jakarta. 16 pp.
- Chang CT, Wang CP, Chou CZ, Duh CT. 2010. The importance of litter biomass in estimating soil organic carbon pools in natural forests of Taiwan. *Taiwan Journal of Forest Science*. 25(2):171–80.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. 2019. Statistik Perkebunan Indonesia 2018-2020: Teh. Direktorat Jenderal Perkebunan, Jakarta. 44 pp.
- Effendi DS, Syakir M, Yusron M, Wiratno. 2010. Budidaya dan pasca panen teh. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan, Bogor. 65 pp.
- Esquivel J, Park BB, Casanoves F, Delgado D, Park GE, Finegan B. 2020. Altitude and species identity drive leaf litter decomposition rates of ten species on a 2950 m altitudinal gradient in neotropical rain forests. *Biotropica*. 52(1):11–21. doi:10.1111/btp.12730.
- Hairiah K, Rahayu S. 2007. Pengukuran “karbon tersimpan” di berbagai macam penggunaan lahan. World Agroforestry Centre-ICRAF Southeast Asia, Bogor. 11 pp.
- Hardjo KS, Danoedoro P, Zuharnen Z. 2014. Pendugaan cadangan karbon pada perkebunan tanaman teh (*Camellia sinensis*) melalui citra penginderaan jauh alos avnir-2. *Majalah Geografi Indonesia*. 28(1):65–70. doi:10.22146/mgi.13066.
- Lestariningsih WA, Soenardjo N, Pribadi R. 2018. Estimasi cadangan karbon pada kawasan mangrove di Desa Timbulsloko. *Buletin Oseanografi Marina*. 7(2):121–30. doi:10.14710/buloma.v7i2.19574.
- Moser G, Hertel D, Leuschner C. 2007. Altitudinal change

- in LAI and stand leaf biomass in tropical montane forests: A transect study in Ecuador and a pan-tropical meta-analysis. *Ecosystems*. 10(6):924–35. doi:10.1007/s10021-007-9063-6.
- Nair PKR. 2011. Methodological challenges in estimating carbon sequestration potential of agroforestry systems. p.3–16. *In* Kumar BM, Nair PKR (Ed.) *Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems: Opportunities and Challenges*. Springer, Dordrecht.
- Oktaviona S, Amin B, Ghalib M. 2017. Estimasi stok karbon tersimpan pada ekosistem hutan mangrove di Jorong Ujuang Labuang Kabupaten Agam Provinsi Sumatera Barat. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Perikanan Dan Ilmu Kelautan*. 4(2):1–12.
- Pang J, Li H, Tang X, Geng J. 2019. Carbon dynamics and environmental controls of a hilly tea plantation in Southeast China. *Ecology and Evolution*. 9(17):9723–9735. <https://doi.org/10.1002/ece3.5504>.
- Pragasana LA. 2020. Tree carbon stock and its relationship to key factors from a tropical hill forest of Tamil Nadu, India. *Geology, Ecology, and Landscapes*. March:1–8. doi:10.1080/24749508.2020.1742510.
- Pramanik P, Phukan M. 2020. Assimilating atmospheric carbon dioxide in tea gardens of Northeast India. *Journal of Environmental Management*. 256:109912. doi:10.1016/j.jenvman.2019.109912.
- Pratama R, Parinduri L. 2019. Penanggulangan pemanasan global. *Buletin Utama Teknik*. 15(1):91–95.
- Rinjani AR, Setyaningsih L, Rusli AR. 2018. Potensi serapan karbon di jalur hijau Kota Bogor (studi kasus: Jalan KH. Sholeh Iskandar dan Jalan Pajajaran). *Jurnal Nusa Sylva*. 16 (1):32–40.
- Rokhmah DN, Wibowo NA, Supriadi H. 2016. Tea plant cultivation for adaptation and mitigation of climate change. p. 267–272. *In* Djiwanti SR, Supriadi, Wahyudi A, Wahyuno D, Nurhayati H, Bagyaraj DJ, Kaushik SC (Ed.) *Innovation on Biotic and Abiotic Stress Management to Maintain Productivity of Spice Crops in Indonesia*. IAARD Press, Jakarta.
- Rosniawaty S, Anjarsari IRD, Sudirja R. 2018. Aplikasi sitokinin untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman teh di dataran rendah. *Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar*. 5(1):31-38. doi:10.21082/jtidp.v5n1.2018.p31-38.
- Sah SP, Brumme R. 2003. Altitudinal gradients of natural abundance of stable isotopes of nitrogen and carbon in the needles and soil of a pine forest in Nepal. *Journal of Forest Science*. 49(1):19–26.
- Setiawan G, Syaufina L, Puspaningsih N. 2016. Pendugaan hilangnya cadangan karbon dari perubahan penggunaan lahan di Kabupaten Bogor. *Jurnal Silviculture Tropika*. 7(2):79–85.
- Sharma CM, Mishra AK, Krishan R, Tiwari OP, Rana YS. 2016. Variation in vegetation composition, biomass production, and carbon storage in ridge top forests of high mountains of Garhwal Himalaya. *Journal of Sustainable Forestry*. 35(2):119–32. doi:10.1080/10549811.2015.1118387.
- Sharma CM, Suyal S, Gairola S, Ghildiyal SK. 2009. Species richness and diversity along an altitudinal gradient in moist temperate forest of Garhwal Himalaya. *Marsland Press Journal of American Science*. 5(5): 119–28.
- Sheikh MA, Kumar M, Bussmann RW. 2009. Altitudinal variation in soil organic carbon stock in coniferous subtropical and broadleaf temperate forests in Garhwal Himalaya. *Carbon Balance and Management*. 4(1):1–6. doi:10.1186/1750-0680-4-6.
- Sheikh MA, Kumar S, Kumar M. 2012. Above and below ground organic carbon stocks in a sub-tropical pinus roxburghii sargent forest of the Garhwal Himalayas. *Forestry Studies in China*. 14(3):205–9. doi:10.1007/s11632-012-0305-0.
- Shirima DD, Totland Ø, Munishi PKT, Moe SR. 2015. Relationships between tree species richness, evenness and aboveground carbon storage in Montane Forests and Miombo Woodlands of Tanzania. *Basic and Applied Ecology*. 16(3):239–249. doi:10.1016/j.baae.2014.11.008.
- Watson RT, Noble IR, Bolin B, Ravindranath NH. 2000. *Land use, land-use change and forestry. A Special Report of the International Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 875 pp.
- Wibisono MG. 2016. *Perubahan Karakteristik Andisol Akibat Perubahan Penggunaan Lahan: Identifikasi Dan Upaya Penanggulangan*. Magister Thesis. Institut Pertanian Bogor, Bogor. 81 pp.
- Yohannes H, Soromessa T, Argaw M. 2015. Carbon stock analysis along altitudinal gradient in Gedo Forest: Implications for forest management and climate change mitigation. *American Journal of Environmental Protection*. 4(5):237–44. doi:10.11648/j.ajep.20150405.14.
- Yuliasmara F, Wibawa A, Prawoto AA. 2009. Karbon tersimpan pada berbagai umur dan sistem pertanaman kakao: Pendekatan allometrik. *Pelita Perkebunan*. 25(2):86–100.
- Zhang M, Yonggen C, Cuiping Y, Zhiqiang P, Dongmei F, Yaoping L, Xiaochang W. 2013. Dynamic assessments of plant biomass and carbon storage during the production cycle of tea gardens. *Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences)*. 39(6):687–94. doi:10.3785/j.issn.1008-9209.2012.12.131.