

**Pendugaan Simpanan Karbon pada Bagian Atas dan Bawah
Permukaan Tanah di Taman Hutan Raya Banten**
*(Estimated Value of Carbon Sequestration on the Above and Below Ground in Banten
Forest Park)*

Suci Ramadhanti¹, Basuki Wasis², dan/and Iwan Hilwan²

¹Departemen Silvikultur Tropika, IPB University (Jawa Barat, Indonesia),
Jl. Lingkar Akademik Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680; Telp: 0251-8626886;
Fax: 0251-8626886

²Taman Hutan Raya Banten, Desa Sukarame, Kecamatan Carita, Kabupaten Pandeglang, Provinsi Banten
42264; Telp: 0253-5808448
Email: Aramadhani63@gmail.com

Tanggal diterima: 9 September 2022; Tanggal disetujui: 14 November 2022; Tanggal direvisi: 1 Februari 2023

Abstract

Forest damage caused by deforestation and degradation is one of the five most important environmental problems. Global warming is an important issue that occurs due to economic activities that are carried out without paying attention to the environmental impacts that have caused the temperature on earth in recent years. This can lead to a decrease in carbon sequestration in the forest. The purpose of this study was to determine the potential for biomass, carbon storage, and carbon dioxide uptake above and below ground in Banten Grand Forest Park. The method of placing the plot is purposive sampling, while the technique of collecting biomass data is the destructive and allometric approach. The results show that there is no significant difference between total biomass, carbon storage, and carbon dioxide absorption between mixed forest, reforestation plantations, and Shorea leprosula plantations in Banten Grand Forest Park. The values of biomass, carbon storage, and carbon dioxide absorption were 30.70-46.23 tons/ha, 14.43-21.73 tons C/ha, and 52.95-79.75 tons CO₂/ha, respectively.

Key words: Biomass, carbon, carbon dioxide

Abstrak

Kerusakan hutan yang disebabkan oleh deforestasi dan degradasi merupakan satu dari lima permasalahan lingkungan yang paling utama. Pemanasan global adalah isu penting yang terjadi akibat aktivitas ekonomi yang dilakukan dengan tidak memperhatikan dampak lingkungan yang menyebabkan meningkatnya temperatur di bumi pada beberapa tahun terakhir. Hal ini dapat menyebabkan penurunan penyerapan karbon di hutan. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui potensi biomassa, simpanan karbon, dan serapan karbon dioksida di atas dan di bawah permukaan tanah di Taman Hutan Raya Banten. Metode penentuan plot dengan *purposive sampling*, sedangkan teknik pengumpulan data biomassa secara destruktif dan pendekatan alometrik. Hasilnya menunjukkan bahwa antara total biomassa, simpanan karbon dan serapan karbon dioksida antara hutan rimba campuran, hutan tanaman reboisasi, dan hutan tanaman *Shorea leprosula* di Taman Hutan Raya Banten tidak berbeda nyata. Nilai biomassa, simpanan karbon, dan serapan karbon dioksida masing-masing, adalah 30,70-46,23 ton/ha, 14,43-21,73 ton C/ha, dan 52,95-79,75 ton CO₂/ha.

Kata Kunci: Biomassa, karbon dioksida, simpanan karbon

1. Pendahuluan

Kerusakan hutan yang disebabkan oleh deforestasi dan degradasi merupakan satu dari lima permasalahan lingkungan yang paling utama (Akhmaddhian, 2016). Pemanasan global adalah isu penting yang terjadi akibat aktivitas ekonomi yang dilakukan dengan tidak memperhatikan dampak lingkungan yang menyebabkan meningkatnya temperatur di bumi pada beberapa tahun terakhir (Prakoso et al., 2019). Kenaikan persentase pada kerusakan hutan yang ada di Indonesia dapat dilihat dengan berkurangnya juga lahan hutan, hal tersebut memicu dampak buruk bagi Indonesia maupun dunia, karena Indonesia ini merupakan salah satu negara paru-paru dunia (Arif, 2016). Data dari *Greenpeace*, Indonesia adalah negara penyumbang emisi gas karbon ketiga setelah negara Amerika Serikat dan negara Tiongkok, sekitar 80% yang disebabkan oleh pembakaran hutan, yang juga menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan manusia seperti dapat menimbulkan sesak nafas berkepanjangan (Han et al., 2019).

Indonesia telah menegaskan komitmennya dalam upaya pengurangan emisi gas rumah kaca sebagaimana dijelaskan dalam *Nationally Determined Contribution* Indonesia (NDC Indonesia) melalui sektor *Forestry and Other Land Use* (FOLU) atau sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya berupaya untuk berkontribusi mengurangi GRK (Gas Rumah Kaca) melalui sektor kehutanan sebesar 60% dari total target penurunan emisi GRK. Sasaran yang ingin dicapai oleh *Indonesia's FOLU Net Sink 2030* adalah (1) tercapainya emisi sebesar -140 juta ton CO_{2e} pada tahun 2030, (2) mendukung *net zero emission* sektor kehutanan, dan (3) memenuhi NDC yang merupakan agenda Indonesia untuk mengurangi emisi GRK, dengan memperhatikan visi Indonesia yang lebih ambisius. Hutan dapat mengurangi gas rumah kaca dengan cara menyerap CO₂ yang ada di atmosfer menjadi simpanan

karbon (C) dalam vegetasi, baik berkayu, tumbuhan bawah, atau karbon organik dalam tanah (Tiryana, 2015).

Hutan menyerap karbon dioksida melalui proses fotosintesis lalu menyimpannya dalam bentuk biomassa dan dalam simpanan tersebut sekitar 76-78% karbon organik adalah bagian dari total karbon organik daratan (Kun & Dongsheng, 2008). Biomassa adalah total berat kering vegetasi yang ada di atas permukaan tanah dan bawah permukaan tanah. Biomassa di atas permukaan tanah ini meliputi seluruh bagian pohon dan tumbuhan bawah, sedangkan untuk biomassa di bawah permukaan tanah ini, meliputi akar tanaman dan karbon organik tanah (Tuah et al., 2017). Biomassa dalam tumbuhan ini dapat menjadikan tumbuhan tumbuh semakin besar atau semakin tinggi, dan akan berlangsung sampai tumbuhan berhenti tumbuh (Rulianti, 2018). Selain biomassa, perhitungan karbon dalam hutan juga dipengaruhi oleh nekromassa. Nekromasa adalah tumbuhan yang telah mati yang masih tersimpan dalam hutan, baik berupa serasah, kayu mati, atau pohon mati. Serasah adalah kumpulan bahan organik yang berasal dari tumbuhan yang sudah mati dapat berupa ranting atau daun dan belum mengalami dekomposisi secara sempurna. Kayu mati adalah bagian dari tumbuhan seperti batang, cabang, atau ranting yang sudah rebah di lantai hutan. Pohon mati adalah vegetasi yang sudah mati (berhentinya proses fisiologis dan metabolisme) tetapi belum jatuh rebah di lantai hutan atau masih berdiri tegak (SNI 7724-2011 tentang pengukuran dan perhitungan karbon).

Provinsi Banten saat ini memiliki jenis ekosistem hutan hujan dataran rendah, yaitu Taman Hutan Raya (TAHURA) Banten yang berada di Desa Sukarame, Kecamatan Carita, Kabupaten Pandeglang (Tahura Banten, 2017). Di dalam TAHURA Banten ini terdapat beberapa blok pengelolaan, yaitu blok pemanfaatan, blok perlindungan, blok

koleksi tumbuhan dan satwa, dan blok rehabilitasi. Koleksi jenis tumbuhan dan satwa disusun berdasarkan perannya dengan menggunakan media interpretasi untuk tujuan pendidikan dan penelitian. Sifat, fungsi, dan informasi setiap spesies yang spesifik untuk ekologi dijelaskan melalui media ini. Keberadaan hutan dipterokarpa tersebut saat ini mulai mengalami ancaman akibat tingginya tingkat deforestasi atau alih fungsi lahan, salah satunya perubahan hutan menjadi lahan pertanian oleh masyarakat di sekitarnya. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengetahui potensi biomassa, simpanan karbon dan serapan karbon dioksida (CO₂) di Taman Hutan Raya Banten. Hal itu diharapkan dapat mendukung program pemerintah guna menekan perubahan iklim global melalui peningkatan fiksasi karbon dalam biomassa tanaman/hutan.

2. Metodologi

2.1. Waktu dan lokasi penelitian

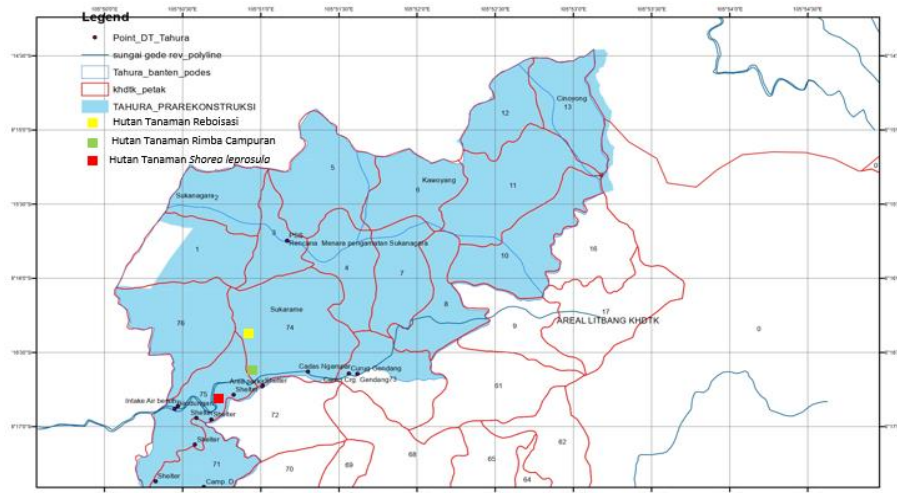
Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret 2022. Pengambilan data primer

dilakukan di Taman Hutan Raya Banten, sedangkan pengujian berat kering biomassa tumbuhan bawah, semai, dan serasah dilakukan di Laboratorium Pengaruh Hutan, Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor.

2.2. Metode

2.2.1. Pengambilan data biomassa tegakan

Pemilihan petak dilakukan pada tegakan hutan tanaman *Shorea leprosula* di petak 75c, tegakan hutan tanaman rimba campuran di petak 74c, dan tegakan hutan tanaman reboisasi di petak 74d, tiap tegakan terdiri dari 1 plot dengan luasan 100 m x 100 m (1 ha). Plot tersebut dibuat sub plot dengan ukuran 20 m x 20 m digunakan untuk mengukur diameter dan tinggi pohon, 10 m x 10 m untuk tingkat tiang, dan 5 m x 5 m untuk tingkat pancang, sedangkan sub plot dengan ukuran 2 m x 2 m digunakan untuk pengambilan data tumbuhan bawah dan semai (SNI 7724-2011 tentang pengukuran dan perhitungan karbon).



Gambar (Figure) 1. Peta plot pengambilan data primer di tegakan hutan tanaman *Shorea leprosula* 75c, hutan tanaman rimba campuran 74c, dan hutan tanaman reboisasi 74d (Map of primary data collection locations in stands of *Shorea leprosula* 75c, mixed jungle 74c, and reforestation 74d)

2.2.2. Pengambilan data biomassa tumbuhan bawah dan semai

Pengambilan data tumbuhan bawah dan semai (*understory*) dilakukan secara *destruktif* di ketiga tegakan dan dilakukan pada lima sub plot luasan 2 m x 2 m, yaitu di empat sub plot penjurur dan satu sub plot tengah (sub plot no. 1, 5, 13, 21, dan 25). Langkah selanjutnya adalah mengambil sampel (campuran tumbuhan bawah dan semai) seberat 300 g lalu dioven dengan suhu 80°C selama 2 x 24 jam agar diketahui berat keringnya (Rusolono et al., 2015).

2.2.3. Pengambilan data nekromassa

Nekromassa yang diukur dalam penelitian ini adalah pohon mati, kayu mati, dan serasah yang ada di permukaan tanah. Pengambilan sampling data serasah sama, seperti pengambilan data tumbuhan bawah dan semai. Pengukuran pohon mati dan kayu mati mengikuti dengan pengukuran pohon yang masih hidup dan diukur dalam plot luasan 100 m x 100 m. Data pengukuran kayu mati berupa diameter dan tinggi sedangkan data pengukuran kayu mati, adalah diameter ujung, diameter pangkal, dan panjang (SNI 7724-2011 tentang pengukuran dan perhitungan karbon).

2.3. Analisis data

Data yang telah diperoleh kemudian diolah untuk mengetahui potensi karbon

dari tegakan, tumbuhan bawah, serasah, tanah, dan nekromassa.

2.3.1. Perhitungan biomassa pohon, tiang, dan pancang

Perhitungan biomassa tegakan hutan tanaman rimba campuran, hutan tanaman reboisasi, dan hutan tanaman *Shorea leprosula* di atas permukaan tanah berdasarkan persamaan alometrik.

2.3.2. Perhitungan biomassa bawah permukaan tanah

Pendugaan biomassa di bawah permukaan tanah jarang dilakukan karena memerlukan waktu dan biaya yang lebih besar jika dilakukan secara langsung atau *destruktif*. Biomassa di bawah permukaan tanah atau bagian akar jarang masuk dalam pendugaan secara tidak langsung (*non destruktif*) karena model alometrik untuk menduga biomassa akar belum banyak tersedia dan dikembangkan. Pendugaan biomassa akar menggunakan model alometrik biomassa akar universal yang dikembangkan oleh Cairns et al. (1997) sesuai rumus berikut:

$$Bbp = NAP \times Bap$$

Dimana : Bbp = Biomassa di bawah permukaan tanah (kg),
 NAP = Nilai nisbah akar pucuk, dan
 Bap = Nilai biomassa di atas permukaan (kg).

Tabel (Table) 1. Model persamaan alometrik penduga biomassa tegakan di TAHURA Banten (*Allometric equation model for estimating stand biomass in Banten Forest Park*)

| Nama jenis (<i>Species name</i>) | Model alometrik biomassa (<i>Biomass allometric models</i>) | Batas diameter (<i>Diameter limit</i>) | Sumber (<i>Source</i>) |
|------------------------------------|--|--|---|
| <u>Shorea leprosula</u> | BAP = 0,059D ^{2,390} BAP = 0,058D ^{2,362} | D < 10 cm D ≥ 10 cm | Krisnawati et al. 2012 |
| <u>Schima wallichii</u> | BAP = 0,178D ^{2,222} BAP = 0,4594D ^{1,9978} | D < 10 cm D ≥ 10 cm | Saputra, 2014 Krisnawati et al. 2012 |
| <u>Maesopsis emini</u> | BAP = 0,292D ^{2,313} BAP = 0,0559D ^{2,464} | D < 10 cm D ≥ 10 cm | Triyana, 2018 Samsuudin et al. 2016 |

Keterangan (*Remarks*): BAP : Biomassa di atas permukaan tanah (*Above ground biomass*) (kg); D: Diameter

2.3.3. Perhitungan biomassa tumbuhan bawah, semai dan serasah

Perhitungan biomassa tumbuhan bawah, semai, dan serasah dilakukan dengan menghitung berat kering total. Rumus yang digunakan untuk menghitung kadar berat kering total menurut Hairiah & Rahayu (2007) adalah sebagai berikut:

$$BKT = \frac{BKc}{BBc} \times BBT$$

Dimana: BKT = Berat Kering Total (%),
BKc = Berat Kering Contoh (g),
BBc = Berat Basah Contoh (g), dan
BBT = Berat Basah Total (g).

2.3.4 Perhitungan pohon mati

Pengukuran nekromasa pohon mati dapat menggunakan metode geometrik (SNI 7724-2011 tentang pengukuran dan perhitungan karbon):

$$V_{pm} = \frac{1}{4} \pi (dbh/100)^2 \times t \times f$$

Dimana: V_{pm} = Volume (m^3),
 Dbh = Diameter setinggi dada 1,3 m (cm),
 t = Tinggi total (m), dan
 f = Faktor bentuk.

Nilai faktor bentuk bervariasi tergantung jenis kayu, apabila faktor bentuk tidak tersedia, maka dapat digunakan faktor bentuk 0,6 setelah itu dihitung dengan rumus (SNI 7724-2011):

$$B_{pm} = V_{pm} \times B_{Jpm}$$

Dimana: B_{pm} = Bahan organik pohon mati (kg),
 V_{pm} = Volume pohon mati (m^3), dan
 B_{Jpm} = Berat jenis kayu pohon mati (kg/m^3)

2.3.5 Perhitungan kayu mati

Pengukuran kayu mati digunakan dengan pendekatan perhitungan volume dengan menggunakan rumus (SNI 7724-2011 tentang pengukuran dan perhitungan karbon):

$$V_{km} = 0,25\pi \left(\frac{du+dp}{2 \times 100}\right)^2 \times p$$

Dimana: V_{km} = Volume (m^3),
 Dp = Diameter pangkal kayu mati (cm),
 d = Diameter ujung kayu mati (cm),
 p = Panjang (m), dan
 π = 22/7

Setelah perhitungan volume tersebut, dihitung berat jenis kayu mati. Penentuan berat jenis kayu mati di lapangan dapat dilakukan dengan metode pengamatan empiris tingkat pelapukan kayu mati dan terakhir hitung biomassa kayu mati, dengan menggunakan rumus (SNI 7724-2011):

$$B_{pm} = V_{pm} \times B_{Jpm}$$

Dimana: B_{pm} = Bahan organik pohon mati (kg),
 V_{pm} = Volume pohon mati (m^3), dan
 B_{Jpm} = Berat jenis kayu pohon mati (kg/m^3)

2.3.6 Perhitungan karbon

Penghitungan karbon dari biomassa dan nekromasa menggunakan rumus (SNI 7724-2011 tentang pengukuran dan perhitungan karbon):

$$C_b = B \times \text{persen C-organik}$$

Dimana: C_b = Kandungan karbon dari biomassa (kg),
 B = Total biomassa atas dan bawah permukaan tanah dan nekromassa (kg), dan
Persen C-Organik = Nilai persentase kandungan karbon, sebesar 0,47 atau menggunakan nilai persen karbon yang diperoleh dari hasil pengukuran di laboratorium

2.3.7 Serapan karbon dioksida (CO₂)

Perhitungan serapan karbon dioksida dihitung berdasarkan IPCC

(2006) dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{CO}_2 = C \times 3,67$$

Dimana: CO_2 = Serapan karbon dioksida (ton/ha), dan
C = Kandungan karbon dari *carbon pool* yang diamati (ton/ha).

2.3.8 Analisis data

Pengambilan keputusan dilakukan dengan melihat nilai signifikansi pada tabel *Coefficients*. Dasar pengujian hasil regresi dilakukan dengan tingkat kepercayaan sebesar 95% atau dengan taraf signifikannya sebesar 5% ($\alpha = 0,05$). Adapun kriteria dari uji statistik t (Ghozali, 2016) :

1. Jika nilai signifikansi uji $t > 0,05$, maka H_0 diterima dan H_a ditolak. Artinya tidak ada pengaruh antara variabel independen terhadap variabel dependen.
2. Jika nilai signifikansi uji $t < 0,05$, maka H_0 ditolak dan H_a diterima. Artinya terdapat pengaruh antara variabel independen terhadap variabel dependen.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil

Hasil penelitian didapat bahwa jumlah individu yang ada pada tegakan hutan tanaman rimba campuran sebanyak 827 individu, hutan tanaman reboisasi 664 individu, dan hutan tanaman *Shorea leprosula* 651 individu. Kerapatan tegakan pada plot sampling penelitian mempunyai tingkat kerapatan yang sedang, yaitu pada tegakan hutan tanaman rimba campuran sebesar 827 individu/ha, tegakan hutan tanaman reboisasi 664 ind/ha, dan tegakan hutan tanaman *Shorea leprosula* 651 ind/ha. Komposisi tegakan pada plot sampling penelitian yang ditunjukkan dengan jumlah jenis mempunyai keragaman jenis yang bervariasi. Tabel 2, menunjukkan bahwa

pada tegakan hutan tanaman rimba campuran mempunyai jumlah jenis yang terbanyak, yaitu 36 diikuti dengan tegakan hutan tanaman *Shorea leprosula* sebanyak 30 dan tegakan hutan tanaman reboisasi sebanyak 24. Ketiga tegakan tersebut didominasi oleh jenis *Shorea leprosula* (meranti tembaga) dan *Swietenia macrophylla* (mahoni daun lebar). Tetapi ada juga jenis yang tidak ditemukan di masing-masing tegakan seperti *Instia bijuga* (merbau), *Terminalia catappa* (ketapang), *Pterocarpus indicus* (angsana), *Stelechocarpus burahol* (burahol).

Jumlah rata-rata biomassa di tegakan hutan tanaman rimba campuran sebesar 30,70 ton/ha, hutan tanaman reboisasi 33,89 ton/ha, hutan tanaman *Shorea leprosula* 46,23 ton/ha. Jumlah rata-rata karbon yang dihasilkan di tegakan hutan tanaman rimba campuran sebesar 14,43 ton C/ha, hutan tanaman reboisasi 15,93 ton C/ha, hutan tanaman *Shorea leprosula* 21,73 ton C/ha. Jumlah rata-rata serapan karbon dioksida yang dihasilkan di tegakan hutan tanaman rimba campuran sebesar 52,95 ton CO_2 /ha, hutan tanaman reboisasi 58,46 ton CO_2 /ha, hutan tanaman *Shorea leprosula* 79,75 ton CO_2 /ha. Berdasarkan hasil uji *t-student* diketahui bahwa antara biomassa hutan tanaman rimba campuran dengan hutan tanaman reboisasi tidak berbeda nyata ($\rho = 0,273$), hutan tanaman rimba campuran dengan hutan tanaman *S. leprosula* tidak berbeda nyata ($\rho = 0,068$), dan hutan tanaman reboisasi dengan hutan tanaman *S. leprosula* tidak berbeda nyata ($\rho = 0,117$). Hasil uji *t-student* menunjukkan bahwa antara nilai nekromassa pohon mati hutan tanaman rimba campuran dengan hutan tanaman reboisasi tidak berbeda nyata ($\rho = 0,45$), hutan tanaman rimba campuran dengan hutan tanaman *S. leprosula* tidak berbeda nyata ($\rho = 0,25$), dan hutan tanaman reboisasi dengan hutan tanaman *S. leprosula* tidak berbeda nyata ($\rho = 0,33$). Hasil uji *t-student* diperoleh nilai

nekromassa kayu mati hutan tanaman rimba campuran dengan hutan tanaman reboisasi tidak berbeda nyata ($\rho = 0,11$), hutan tanaman rimba campuran dengan hutan tanaman *S. leprosula* tidak berbeda nyata ($\rho = 0,09$), dan hutan tanaman reboisasi dengan hutan tanaman *S. Leprosula* tidak berbeda nyata ($\rho = 0,24$). Hasil uji *t-student* diperoleh nilai

nekromassa serasah hutan tanaman rimba campuran dengan hutan tanaman reboisasi tidak berbeda nyata ($\rho = 0,11$), hutan tanaman rimba campuran dengan hutan tanaman *S. leprosula* tidak berbeda nyata ($\rho = 0,09$), dan hutan tanaman reboisasi dengan hutan tanaman *S. Leprosula* tidak berbeda nyata ($\rho = 0,37$).

Tabel (Table) 2. Jumlah individu di tiga plot penelitian (*Number of individuals in the three research plots*)

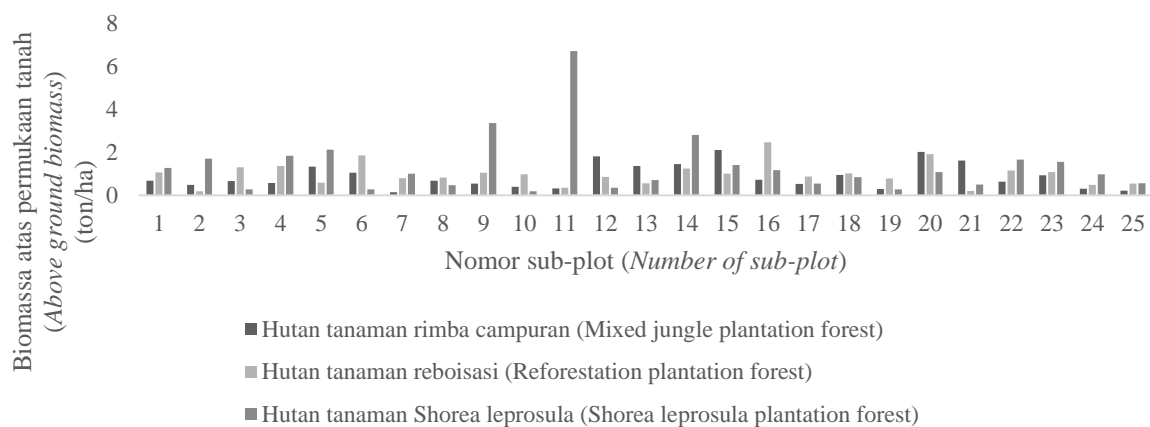
| Tingkat pertumbuhan (<i>Growth rate</i>) | Jumlah individu (<i>Number of individuals</i>) | | |
|--|---|---|---|
| | Hutan tanaman rimba campuran (<i>Mixed jungle plantation forest</i>) | Hutan tanaman reboisasi (<i>Reforestation plantation forest</i>) | Hutan tanaman <i>S. leprosula</i> (<i>S. leprosula plantation forest</i>) |
| Tumbuhan bawah dan semai (<i>Understorey and seedlings</i>) | 773 | 548 | 551 |
| Pancang (<i>Stake</i>) | 7 | 5 | 5 |
| Tiang (<i>Pole</i>) | 35 | 15 | 13 |
| Pohon (<i>Tree</i>) | 112 | 96 | 82 |
| Total | 827 | 664 | 651 |

Tabel (Table) 3. Jumlah jenis di tiga plot penelitian (*Number of species in the three research plots*)

| Tingkat pertumbuhan (<i>Growth rate</i>) | Jumlah spesies (<i>Number of species</i>) | | |
|--|---|---|---|
| | Hutan tanaman rimba campuran (<i>Mixed jungle plantation forest</i>) | Hutan tanaman reboisasi (<i>Reforestation plantation forest</i>) | Hutan tanaman <i>S. leprosula</i> (<i>S. leprosula plantation forest</i>) |
| Tumbuhan bawah dan semai (<i>Understorey and seedlings</i>) | 16 | 10 | 20 |
| Pancang (<i>Stake</i>) | 1 | 3 | 3 |
| Tiang (<i>Pole</i>) | 6 | 4 | 2 |
| Pohon (<i>Tree</i>) | 13 | 7 | 5 |
| Total | 36 | 24 | 30 |

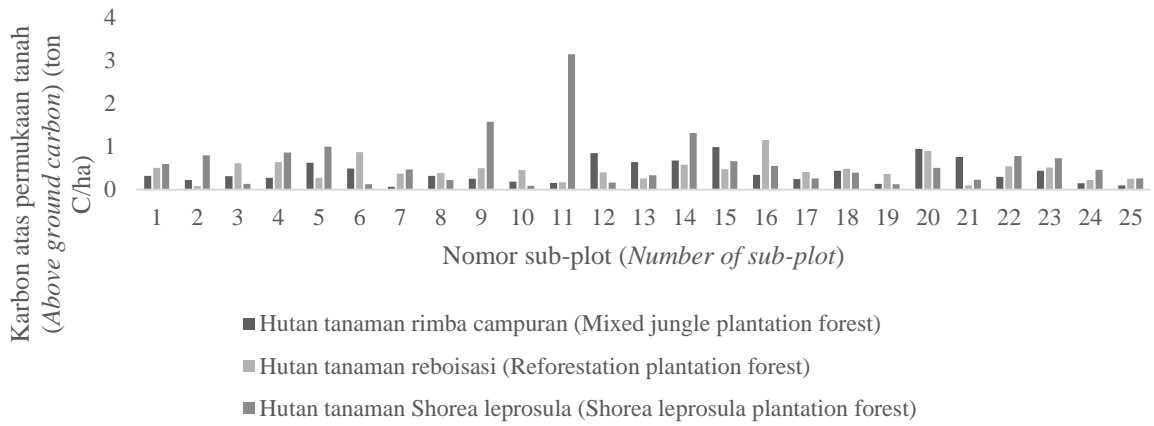
Tabel (Table) 4. Jumlah rata-rata biomassa, simpanan karbon, dan serapan karbon dioksida di tiga lokasi penelitian (*Average total biomass, carbon storage, and carbon dioxide uptake at the three reasearch plots*)

| Tegakan (<i>Stands</i>) | Jumlah biomassa nekromassa (<i>Total of biomass/necromass</i>) | | Jumlah simpanan karbon (<i>Total of carbon storage</i>) | | Jumlah serapan karbon dioksida (<i>Total of carbon dioxide uptake</i>) | |
|---|--|--|---|--|--|--|
| | Rata-rata (<i>Average</i>) (ton/ha) | Standar deviasi (<i>Standard of deviation</i>) | Rata-rata (<i>Average</i>) (ton/ha) | Standar deviasi (<i>Standard of deviation</i>) | Rata-rata (<i>Average</i>) (ton/ha) | Standar deviasi (<i>Standard of deviation</i>) |
| Hutan tanaman rimba campuran (<i>Mixed jungle plantation forest</i>) | 30,7 | 0,50 | 14,43 | 0,24 | 52,95 | 0,86 |
| Hutan tanaman reboisasi (<i>Reforestation plantation forest</i>) | 33,89 | 0,51 | 15,93 | 0,24 | 58,46 | 0,88 |
| Hutan tanaman <i>S. leprosula</i> (<i>S. leprosula plantation forest</i>) | 46,23 | 1,10 | 21,73 | 0,52 | 79,75 | 1,90 |

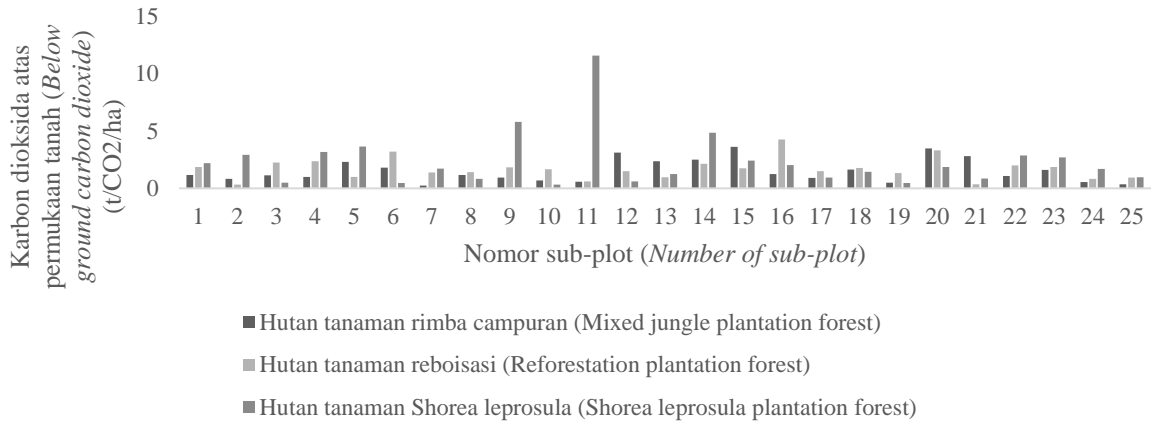


Gambar (Figure) 2. Rata-rata biomassa atas permukaan tanah di tiga plot penelitian (*Average above ground biomass at the three research plots*)

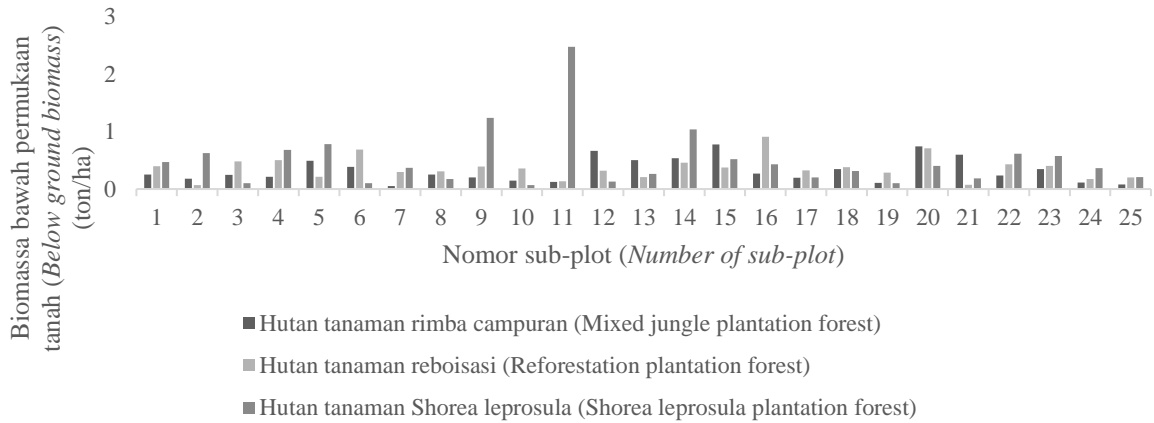
**Pendugaan Simpanan Karbon Pada Bagian Atas dan Bawah Permukaan Tanah di Taman Hutan Raya Banten
Suci Ramadhanti, Basuki Wasis, dan/and Iwan Hilwan**



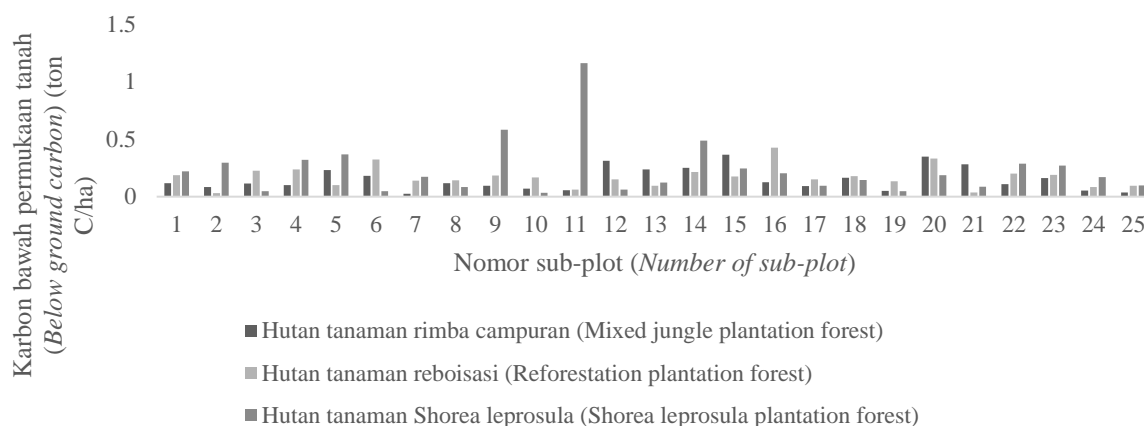
Gambar (Figure) 3. Rata-rata biomassa bawah permukaan tanah di tiga plot penelitian (Average below ground biomass at the three research plots)



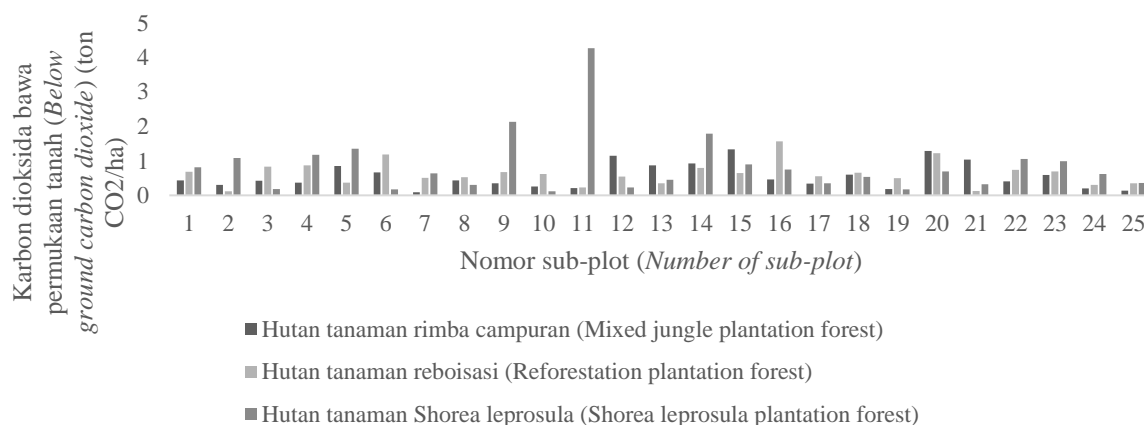
Gambar (Figure) 4. Rata-rata karbon atas permukaan tanah di tiga plot penelitian (Average above ground carbon at the three research plots)



Gambar (Figure) 5. Rata-rata karbon bawah permukaan tanah di tiga plot penelitian (Average below ground carbon at the three research plots)



Gambar (Figure) 6. Rata-rata serapan karbon dioksida atas permukaan tanah di tiga plot penelitian (Average above ground carbon dioxide uptake at the three research plots)



Gambar (Figure) 7. Rata-rata serapan karbon dioksida bawah permukaan tanah di tiga plot penelitian (Average below ground carbon dioxide uptake at the three research plots)

Tabel (Table) 5. Hasil uji *t*-student biomassa di tiga lokasi penelitian (The results of the *t*-student test on biomass at the three research plots)

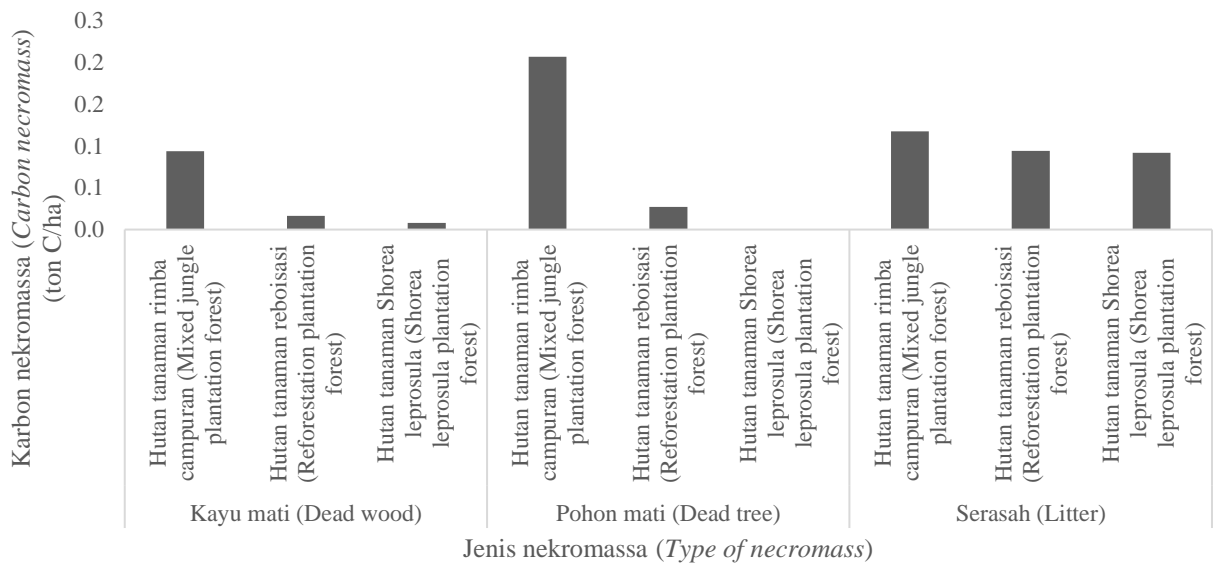
| Tegakan (<i>Stands</i>) | Hutan tanaman rimba campuran (<i>Mixed jungle plantation forest</i>) | Hutan tanaman reboisasi (<i>Reforestation plantation forest</i>) |
|---|--|--|
| Hutan tanaman <i>S. leprosula</i> (<i>S. leprosula plantation forest</i>) | 0,068 tn | 0,117 tn |
| Hutan tanaman rimba campuran (<i>Mixed jungle plantation forest</i>) | | 0,273 tn |

Keterangan (*Remarks*): tn Tidak berbeda nyata (*tn Not significantly different*) ($p > 0,05$)

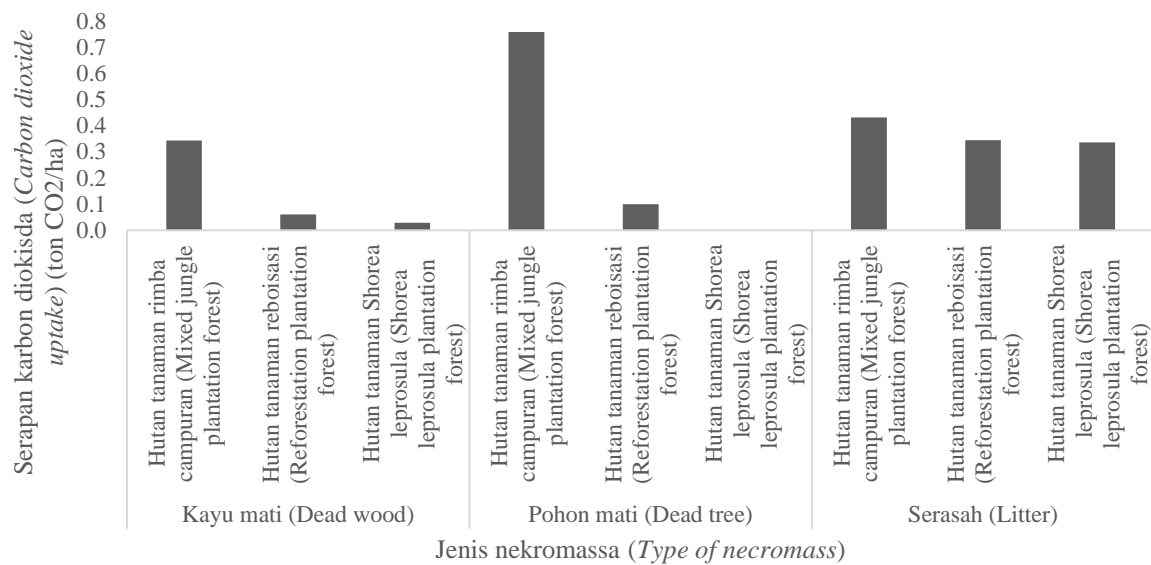
**Pendugaan Simpanan Karbon Pada Bagian Atas dan Bawah Permukaan Tanah di Taman Hutan Raya Banten
Suci Ramadhanti, Basuki Wasis, dan/and Iwan Hilwan**



Gambar (Figure) 8. Rata-rata nekromasa di tiga plot penelitian (Average of necromas in the three study plots)



Gambar (Figure) 9. Rata-rata karbon nekromasa di tiga plot penelitian (Average of carbon necromas in the three study plots)



Gambar (Figure) 10. Rata-rata karbon dioksida nekromasa di tiga plot penelitian (Average of carbon dioxide necromas in the three study plots)

Tabel (Table) 5. Hasil uji *t*-student pohon mati di tiga lokasi penelitian (The results of the *t*-student test on dead tree at the three research plots)

| Tegakan (Stands) | Hutan tanaman rimba campuran (Mixed jungle plantation forest) | Hutan tanaman reboisasi (Reforestation plantation forest) |
|--|---|---|
| Hutan tanaman <i>S. leprosula</i> (<i>S. leprosula</i> plantation forest) | 0,25 tn | 0,33 tn |
| Hutan tanaman rimba campuran (Mixed jungle plantation forest) | - | 0,45 tn |

Keterangan (Remarks): tn Tidak berbeda nyata (tn Not significantly different) ($p > 0,05$)

Tabel (Table) 6. Hasil uji *t*-student kayu mati di tiga lokasi penelitian (The results of the *t*-student test on dead wood at the three research plots)

| Tegakan (Stands) | Hutan tanaman rimba campuran (Mixed jungle plantation forest) | Hutan tanaman reboisasi (Reforestation plantation forest) |
|--|---|---|
| Hutan tanaman <i>S. leprosula</i> (<i>S. leprosula</i> plantation forest) | 0,09 tn | 0,11 tn |
| Hutan tanaman rimba campuran (Mixed jungle plantation forest) | - | 0,24 tn |

Keterangan (Remarks): tn Tidak berbeda nyata (tn Not significantly different) ($p > 0,05$)

Tabel (Table) 7. Hasil uji *t-student* serasah di tiga lokasi penelitian (*The results of the t-student test on litter at the three research plots*)

| Tegakan (<i>Stands</i>) | Hutan tanaman rimba campuran (<i>Mixed jungle plantation forest</i>) | Hutan tanaman reboisasi (<i>Reforestation plantation forest</i>) |
|---|--|--|
| Hutan tanaman <i>S. leprosula</i> (<i>S. leprosula plantation forest</i>) | 0,09 tn | 0,37 tn |
| Hutan tanaman rimba campuran (<i>Mixed jungle plantation forest</i>) | - | 0,11 tn |

Keterangan (*Remarks*): tn Tidak berbeda nyata (*tn Not significantly different*) ($p > 0,05$)

3.2 Pembahasan

Besar atau kecilnya kandungan biomassa dalam hutan baik dalam tingkat pertumbuhan pohon, tiang atau pancang bervariasi karena dipengaruhi oleh faktor diameter, dimana semakin besar diameter suatu tumbuhan, maka semakin besar juga biomassa yang dihasilkan (Tuah et al., 2017). Selain itu, faktor yang dapat menyebabkan adanya perbedaan nilai biomassa di berbagai plot penelitian, adalah karena kerapatan individu. Jika suatu tegakan memiliki kerapatan yang tinggi, maka persaingan untuk mendapatkan hara dan nutrisi juga semakin besar, sehingga individu dalam komunitas tersebut akan kesulitan untuk tumbuh dan berkembang karena nutrisi dan hara yang didapatkan juga rendah, akibatnya diameter menjadi kecil dan mudah terserang hama dan penyakit. Kandungan biomassa terbesar pada berbagai tingkat pertumbuhan ada pada tingkat pertumbuhan pohon yang memiliki diameter > 20 cm. Diameter yang besar ini bergantung pada kondisi fisiologis tumbuhannya seperti kandungan klorofil, jumlah stomata persatuan luas daun dan usia tegakan (Yamani, 2013). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Lukito & Rohmatiah (2013) semakin besar luasan daun, maka penyerapan karbon dioksida semakin besar. Hal ini sejalan dengan umur tegakan, dimana

semakin tua umur tumbuhan, maka semakin luas daun pada tumbuhan tersebut.

Kandungan biomassa dalam tumbuhan bawah dan semai dipengaruhi oleh komposisi jenis yang menyusun komunitas. Menurut Windusari et al. (2012) persentase total biomassa yang dihasilkan oleh tumbuhan bawah hanya 3% dari total biomassa. Selain itu, IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) (2006) menjelaskan bahwa kadar air yang ada pada tumbuhan bawah berkisar 65-76%, dimana angka tersebut adalah angka yang besar untuk menyisakan kandungan biomassa yang ada di dalam tumbuhan bawah. Nilai biomassa yang dihasilkan pada bagian atas dan bawah permukaan tanah juga mengalami perbedaan yang cukup signifikan. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa nilai biomassa yang berada di atas permukaan tanah menghasilkan nilai yang lebih besar dibandingkan dengan nilai pada biomassa di bawah permukaan tanah. Hal ini sesuai dengan penelitian Rulianti (2018) bahwa kandungan biomassa dalam tumbuhan paling banyak berada dalam bagian batang dengan persentase kurang lebih 60% dan Kunya et al. (2013) menjelaskan bahwa nisbah atau skala biomassa paling besar berada di bagian batang, cabang, dan daun yang merupakan bentuk persaingan

dengan individu dalam untuk mendapatkan sinar matahari.

Tingginya akumulasi nekromasa pohon mati dan kayu mati dalam plot penelitian diduga karena adanya aktivitas alam dan manusia. Akibat dari manusia ini berupa penebangan pohon dan pencurian kayu, tetapi angka yang dihasilkan tidak cukup besar daripada akibat dari aktivitas alam. Aktivitas alam pada Taman Hutan Raya Banten ini memegang dampak yang besar, seperti hujan yang diiringi dengan petir dan hama penyakit. Serangan hama dan penyakit ini memiliki mekanisme yang kuat untuk cepat beradaptasi dengan inang (berupa vegetasi hidup) dan menghasilkan penyebaran yang luas dan cepat. Penelitian yang dilakukan oleh Hendrawan (2014) menyatakan bahwa proporsi nekromasa di hutan hanya menyumbang 0,015% dari total simpanan biomassa. Hal ini disebabkan karena ukuran nekromasa dan jumlah yang jauh lebih kecil dari biomassa di atas permukaan tanah. Perhitungan nekromasa serasah berupa material seperti serasah, ranting kecil, dan kulit kayu yang menyebar pada plot tertentu di hutan dan bahan-bahan tersebut juga belum mengalami dekomposisi secara sempurna (Hendrawan et al., 2014).

Berat serasah yang dihasilkan dalam lokasi penelitian dipengaruhi oleh keadaan iklim, Taman Hutan Raya merupakan hutan hujan tropis yang selalu hijau, sehingga produksi serasah yang dihasilkan sangat tinggi karena ekosistem tersebut memiliki vegetasi yang sangat lebat. Berdasarkan hasil pengamatan, berat serasah yang dihasilkan pada ketiga plot penelitian memiliki hasil yang berbeda karena setiap gerakan memiliki jumlah dan komposisi jenis tumbuhan yang berbeda, selain dari jumlah dan komposisi adanya perbedaan berat serasah juga disebabkan oleh kerapatan tajuk dan persaingan dalam pengambilan cahaya. Nekromasa serasah tertinggi menunjukkan bahwa kondisi lingkungan pada tegakan tersebut mendukung fauna tanah dalam

mempercepat proses dekomposisi (Elvina, 2018).

Langkah pertama yang dilakukan untuk mendapati besaran karbon yang disimpan oleh tegakan yaitu dengan mengkaji biomassa (Istomo & Farida, 2017). Serapan karbon sangat dipengaruhi oleh biomassa, oleh karena itu apapun yang menyebabkan bertambah atau berkurangnya potensi biomassa akan berpengaruh serapan karbon (Ivando et al., 2019). Serapan CO₂ di atmosfer oleh tumbuhan melalui proses fotosintesis akan menghasilkan unsur karbon dan disimpan dalam tumbuhan dalam bentuk biomassa.

Faktor yang memengaruhi penyerapan karbon di hutan, adalah faktor edafis atau kualitas tempat tumbuh (topografi dan karakter lahan), klimatis (kelembaban, suhu dan cahaya matahari), kerapatan jenis dan komposisi (Widyasari, 2010). Simpanan karbon pada tegakan sejalan dengan pertumbuhan tegakan (tinggi dan diameter). Oleh karena itu, simpanan karbon akan terus meningkat hingga pertumbuhan tegakan optimal dan kemudian relatif stabil hingga mencapai tahap akhir, dimana tanaman tidak lagi menghasilkan sel-sel tumbuh. Kerapatan tegakan dan jumlah pohon juga merupakan faktor yang menentukan simpanan karbon di kawasan tersebut karena tinggi kerapatan dan jumlah pohon ini dapat menyebabkan persaingan yang besar dalam pengambilan hara dan nutrisi. Selain kerapatan tegakan kualitas tempat tumbuh, yang rendah dapat mengakibatkan pertumbuhan diameter rendah karena hara dan nutrisi yang dihasilkan tidak optimal (Istomo & Farida, 2017).

Menurut Sukmawati et al. (2015), produk awal yang dihasilkan oleh proses fotosintesis adalah karbon dioksida. Nilai besarnya karbon dioksida yang dihasilkan selama proses fotosintesis sebanding dengan nilai simpanan karbon. Jika jumlah karbon yang dihasilkan besar, maka jumlah karbon dioksida di dalam tanaman tinggi, dan berlaku sebaliknya.

Keanekaragaman spesies tumbuhan yang ditemukan di plot penelitian menggambarkan nilai serapan karbon dioksida, yang dipertahankan sebagai sumber karbon untuk bahan di atas, di bawah tanah atau nekrotik, membantu mengurangi emisi karbon (Ariyanti et al., 2018).

Berdasarkan pada penelitian ini yang dilakukan di hutan tanaman Taman Hutan Raya Banten menghasilkan total cadangan karbon sebesar 258,71 ton C/ha. Jumlah cadangan karbon setiap hutan berbeda-beda hal ini sesuai pernyataan Masripatin et al. (2013) yang menyatakan bahwa kemampuan hutan dalam menyerap dan menyimpan karbon tidak sama baik di hutan alam, hutan tanaman, hutan payau, hutan rawa, maupun di hutan rakyat tergantung pada jenis pohon, tipe tanah, dan topografi. Jika dibandingkan dengan penelitian di Hutan Penelitian Malinau, Kalimantan Timur yang dilakukan oleh Samsudin et al. (2016) biomassa, cadangan karbon, dan karbon dioksida berturut-turut adalah sebesar 530 ton/ha, 249,10 ton C/ha, dan 914,92 ton CO₂/ha. Penelitian yang dilakukan Fauzi et al. (2011) hutan alam di Hutan Gayo Lues, Kabupaten Gayo Lues NAD menghasilkan biomassa, cadangan karbon, dan karbon dioksida berturut-turut 659,64 ton/ha, 310,03 ton C/ha, dan 1137,81 ton CO₂/ha. Penelitian yang dilakukan oleh Arifanti et al. (2012) hutan alam primer pada tanah mineral di Taman Nasional Gunung Halimun Salak menghasilkan nilai biomassa, cadangan karbon, dan karbon dioksida berturut-turut sebesar 687,59 ton/ha, 323,17 ton C/ha, dan 1.186,03 ton CO₂/ha.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

Total biomassa, simpanan karbon dan serapan karbon dioksida antara hutan rimba campuran, hutan tanaman reboisasi, dan hutan tanaman *Shorea leprosula* di Taman Hutan Raya Banten

tidak berbeda nyata. Jumlah rata-rata biomassa di tegakan hutan tanaman rimba campuran sebesar 30,70 ton/ha, hutan tanaman reboisasi 33,89 ton/ha, dan hutan tanaman *S. leprosula* 46,23 ton/ha. Jumlah rata-rata karbon yang dihasilkan di tegakan hutan tanaman rimba campuran sebesar 14,43 ton C/ha, hutan tanaman reboisasi 15,93 ton C/ha, dan hutan tanaman *S. leprosula* 21,73 ton C/ha. Jumlah rata-rata serapan karbon dioksida yang dihasilkan di tegakan hutan tanaman rimba campuran sebesar 52,95 ton CO₂/ha, hutan tanaman reboisasi 58,46 ton CO₂/ha, dan hutan tanaman *S. leprosula* 79,75 ton CO₂/ha.

4.2. Saran

Pendugaan biomassa masing-masing jenis tegakan perlu diteliti secara berkala untuk mengevaluasi manajemen pengelolaan Taman Hutan Raya Banten dan mengatur strategi untuk pengelolaan Taman Hutan Raya Banten yang lebih baik.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Kepala Balai Taman Hutan Raya Banten yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Arif, A. (2016). Analisis yuridis pengerusakan hutan (deforestasi) & degradasi hutan terhadap lingkungan. *Jurisprudentie*, 3, 33-41.
- Arifanti, V.B, Dharmawan, I.W.S., & Wibowo, A. (2012). Perhitungan karbon untuk perbaikan faktor emisi & serapan GRK kehutanan pada hutan alam tanah mineral. Pusat Litbang Perubahan Iklim & Kebijakan. Bogor.
- Ariyanti, D., Wijayanto, N., & Hilwan, I. (2018). Keanekaragaman jenis tumbuhan & simpanan karbon pada

- berbagai tipe penggunaan lahan di Kabupaten Pesisir Barat Lampung. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 9(3), 167-174.
- Akhmaddhian, S. (2016). Penegakan hukum lingkungan & pengaruhnya terhadap pertumbuhan ekonomi di Indonesia (studi kebakaran hutan tahun 2015). UNIFIKASI, *Jurnal Ilmu Hukum*, 3(1), 40-60
- Basuki, T.M., van Laake, P.E., Skidmore, A.K., & Hussin, Y.A. (2009). Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical low land Dipterocarp forests. *Forest Ecology and Management*, 257(8), 1684–1694.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.01.027>
- Elvina, C.Y., Mulyanda, M.F., Lisa, S.M., Hidayat, M., & Mulaydi. (2018). Estimasi biomassa karbon serasah di kawasan hutan sekunder Pegunungan Deudap Kecamatan Pulo Aceh Besar. *Prosiding Seminar Nasional Biotik*.
- Fauzi, Darusman, D., Wijayanto, N., & Kusmana, C. (2011). Kajian potensi karbon pada sumber daya Hutan Gayo Lues. *Jurnal Hutan & Masyarakat*, 6(1), 1-12.
- Ghozali, I. (2016). Aplikasi analisis multivariete dengan program IBM SPSS 23. Edisi 8. Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Hairiah, K., & Rahayu, S. (2007). *Pengukuran karbon tersimpan di berbagai macam penggunaan lahan*. World Agroforestry Centre ICRAF. SEA Regional Office, 77p.
- Han, E.S., Goleman, D., Boyatzis, R., & Mckee, A. (2019). Lahan & hutan dalam skala besar. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689-1699.
- Hendrawan, F., Satjapradja, O., & Wayan, I.S.D. (2014). Potensi biomassa karbon tegakan, nekromas, & serasah pada Hutan Penelitian Dramaga. *Jurnal Nusa Sylva*, 14(1),1-9.
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Jepang.
- Istomo, & Farida, N.E. (2017). Potensi simpanan karbon di atas permukaan tanah tegakan akasian di Taman Nasional Baluran Jawa Timur. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam & Lingkungan*, 7(2), 155-162.
- Ivando, D., Banuwa, I.S., & Bintoro, A. (2019). Karbon tersimpan pada berbagai tipe kerapatan tegakan di Hutan Rakyat Desa Sukoharjo I Kecamatan Sukoharjo Kabupaten Pringsewu. *Jurnal Belantara*, 2(1), 53-61.
DOI:<https://doi.org/10.29303/jbl.v2i1.96>
- [KLHK] Kementerian Lingkungan Hidup & Kehutanan. (2022). *Rencana operasional Indonesia's FOLU Net Sink 2030*.
- Krisnawati, H., Adinugroho, W.C., & Imanuddin, R. (2012). Monograf model-model alometrik untuk pendugaan biomassa pohon pada berbagai tipe ekosistem hutan di Indonesia. Pusat Penelitian & Pengembangan Konservasi & Rehabilitasi Hutan, Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Kementerian Kehutanan. Bogor.
- Kun, Y., & Dongsheng. (2008). Change in forest biomass and carbon stock in the Pearl River Delta between 1989 and 2003. *Journal of Environmental Science*, 20, 1439-1444.
- Kunya, S., Dietz, J., Muthuri, C., van Noordwijk, M., & Neufeldt, H. (2013). Allometry and partitioning of above- and below-ground biomass in farmed eucalyptus species dominant in Western Kenyan agricultural landscape. *Biomass and Bioenergy*, 55, 276- 284.
- Kusmana, C., & Susanti, S. (2015). Komposisi & sturktur tegakan hutan

- alam di Hutan Pendidikan Gunung Walat Sukabumi. *Jurnal Silviculture Tropika*, 5(3), 210-217.
- Lukito, M., & Rohmatiah, A. (2013). Estimasi biomassa & karbon tanaman jati umur 5 tahun (kasus kawasan Hutan Tanaman Jati Unggul Nusantara (JUN)) Desa Krowe Kecamatan Lembeyan Kabupaten Magetan. *Jurnal Agri-tek*, 14(1), 1-8
- Prakoso, S., Ardita, G.N.D., & Murtyantoro, A.P. (2019). Analisis diplomasi *soft power* Denmark terhadap Indonesia (studi tentang kerja sama pengelolaan lingkungan di Indonesia). *Jurnal Politika Dinamika Masalah Politik Dalam Negeri & Hubungan Internasional*, 10(1), 57-76.
- Rulianti, F., Devi, R., Mela, R., Mulyadi, & Hidayta, M. (2018). Estimasi biomassa pada pohon di kawasan Hutan Primer Pegunungan Deudap Pulo Aceh Kabupaten Aceh Besar. *Prosiding Seminar Nasional Biotik*, 246-258.
- Rusolono, T., Tiryana, T., & Purwanto, J. (2015). *Panduan survei cadangan karbon & keanekaragaman hayati di Sumatera Selatan*. Biodiversity and Climate Change Project, German International Cooperation-GIZ & KLHK Dinas Kehutanan Provinsi Sumatera Selatan. Palembang.
- Samsuudin, I., Sukiman, H., Wari, M., & Haeriyanto, N.M. (2016). Pendugaan biomassa & kandungan karbon kayu afrika (*Maesopsis eminii* Engl.) di Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 13(1), 73-81.
- Saputra, R.E. (2014). Model alometrik biomassa puspa (*Schima wallichii* Korth.) berdiameter kecil di Hutan Pendidikan Gunung Walat, Sukabumi. [Skripsi]. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Septiawan, W., Indriyanto, & Duryat. (2017). Jenis tanaman, kerapatan, & stratifikasi tajuk pada hutan lindung di Register 30 Tanggamus Lampung. *Jurnal Sylva Lestari*, 5(2), 88-101.
- Sukmawati, T., Fitrihidajati, H., & Indah, N.K. (2015). Penyerapan karbon dioksida pada tanaman hutan kota di Surabaya. *Lentera Bio*, 4(1), 108-111.
- [SNI] Standar Nasional Indonesia. (2011). Pengukuran & perhitungan cadangan karbon hutan (*Ground based forest carbon accounting*). Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Sutaryo, D. (2009). *Penghitungan biomassa: sebuah pengantar untuk studi karbon & perdagangan karbon*. Bogor (ID), Wetlands International Indonesia Programme.
- TAHURA Banten. (2017). Taman Hutan Raya (TAHURA) Banten. Pandeglang (ID), UPTD Taman Hutan Raya Banten.
- Tiryana, T., (2005). *Pengembangan metode penggunaan sebaran potensi biomassa & karbon pada Hutan Tanaman Mangium (Acacia mangium)*. Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor.
- Triyana, Y. (2018). Simpanan karbon lahan agroforestri berbasis kayu afrika (*Maesopsis eminii* Engl.) di Desa Sukamahi, Kecamatan Megamendung, Kabupaten Bogor. [Skripsi]: Institut Pertanian Bogor.
- Tuah, N., Sulaeman, R., & Yoza, D. (2017). Perhitungan biomassa & karbon di atas permukaan tanah di Hutan Larangan Adat Rumbio Kabupaten Kampar. *Jurnal Faperta*, 4(1), 1-10.
- Widyasari., N.A.E., Saharjo., B.H., Solichin, & Istomo. (2010). Pendugaan biomassa & potensi karbon terikat di atas permukaan tanah pada hutan rawa gambut bekas terbakar di Sumatera Selatan.

- Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 15(1), 41-49.
- Windusari, Y., Sari, N.A.P., Yusitian, I., & Zulkifki, H. (2012). Dugaan cadangan karbon biomassa tumbuhan bawah & serasah di kawasan suksesi alami pada area pengendapan *tailing* PT Freeport Indonesia. *Biospecies*, 5(1), 22-28.
- Yamani, A. (2013). Studi kandungan karbon pada hutan alam sekunder di Hutan Pendidikan Mandiangin Fakultas Kehutanan UNLAM. *Jurnal Kehutanan*, 1(1), 85-91.