

Simpanan Karbon pada Tegakan *Rubroshorea selanica* di Hutan Penelitian Gunung Dahu, Kabupaten Bogor
*(Carbon Storage in *Rubroshorea selanica* Stands at the Gunung Dahu Research Forest, Bogor)*

Maharani Putri Banestia^{1*}, Prijanto Pamoengkas², dan/and Wahyu Catur Adinugroho³

^{1,2}Departemen Silvikultur Tropika, IPB University (Jawa Barat, Indonesia), Jl. Lingkar Akademik Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680; Telp: 0251-8626886; Fax: 0251-8626886

³Badan Riset dan Inovasi Nasional (Jawa Barat, Indonesia), Jl. Raya Jakarta-Bogor No.32, Pakansari, Kec. Cibinong, Kabupaten Bogor 16915; Telp: 0811-1933-3601

*E-mail :13maharani@apps.ipb.ac.id

Tanggal diterima: 22 April 2026; Tanggal disetujui: 12 Juni 2026; Tanggal direvisi: 15 Juni 2026

Abstract

*Differences in propagation techniques for the same tree species are presumed to influence stand growth, biomass, and carbon stocks, raising questions regarding the effectiveness of planting material sources in supporting the forest's function as a carbon sink. This study aimed to analyze biomass and carbon storage in *Rubroshorea selanica* stands, based on differences in reproductive methods, at the Gunung Dahu Research Forest, Bogor Regency. Data were collected using a purposive sampling method on plots with 2 m × 2 m spacing in age stands 27 and 28 years. Biomass was estimated non-destructively using allometric equations, whereas understory vegetation and litter were analyzed destructively. The results showed that the standing biomass from cuttings was 259.66 ± 33 tons/ha, and from seed was 224.86 ± 24.68 tons/ha. Carbon storage in both seed sources was high and dominated by aboveground components. Stands derived from cuttings (120.82 tons/ha) had higher carbon storage than stands derived from seeds (102.86 tons/ha), although the difference was not statistically significant. Correlation analysis indicated that seed source had no significant effect on carbon storage, while canopy density had a positive and significant effect. The carbon storage is more strongly influenced by diameter than by seed source.*

Keywords: Biomass, carbon stock, seed, cuttings

Abstrak

Perbedaan teknik perbanyakan pada jenis pohon yang sama diduga dapat memengaruhi pertumbuhan tegakan, biomassa, dan simpanan karbon yang dihasilkan, sehingga menimbulkan pertanyaan mengenai efektivitas sumber bibit dalam mendukung fungsi hutan sebagai penyerap karbon. Penelitian ini bertujuan menganalisis biomassa dan simpanan karbon pada tegakan *Rubroshorea selanica* berdasarkan perbedaan sumber bibit di Hutan Penelitian Gunung Dahu, Kabupaten Bogor. Pengambilan data dilakukan dengan metode *purposive sampling* pada plot berjarak tanam 2 m × 2 m di tegakan dengan umur 27 dan 28 tahun. Pendugaan biomassa dilakukan secara *non-destructive* menggunakan persamaan alometrik, sedangkan tumbuhan bawah dan serasah dianalisis secara destruktif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa biomassa tegakan dengan sumber bibit dari stek sebesar 259,66 ± 33 ton/ha dan yang berasal bibit *seed* sebesar 224,86 ± 24,68 ton/ha. Simpanan karbon pada kedua sumber bibit tergolong tinggi dan didominasi oleh komponen *aboveground*. Tegakan yang bibit stek memiliki simpanan karbon (120,82 ton/ha) lebih tinggi dibandingkan tegakan asal bibit *seed* (102,86 ton/ha), namun perbedaannya tidak signifikan. Sumber bibit tidak berpengaruh nyata terhadap simpanan karbon,

sedangkan kerapatan tajuk berpengaruh positif dan signifikan. Simpanan karbon lebih dipengaruhi oleh diameter dibandingkan sumber bibit.

Kata kunci: Biomassa, simpanan karbon, benih, stek

1. Pendahuluan

Pemanasan global saat ini menjadi isu yang sedang hangat di berbagai negara, salah satunya Indonesia. Pemanasan global terjadi akibat meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca (GRK) seperti metana (CH_4), *Chlorofluorocarbon* (CFC), Karbon dioksida (CO_2) dan lainnya. Gas-gas tersebut berkumpul di lapisan bawah atmosfer, menyerap cahaya yang dipantulkan dari bumi atau dikenal sebagai efek rumah kaca. Adanya efek rumah kaca ini berbahaya bagi kehidupan makhluk hidup terutama manusia. Menurut European Commission Joint Research Centre (2025), emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh Indonesia telah meningkat 38,77% dalam rentang tahun 2013 hingga tahun 2020. Pada tahun 2013 Indonesia memproduksi sebesar 864,85 mt $\text{CO}_2\text{eq/tahun}$. Pada tahun 2023 emisi gas rumah kaca di Indonesia meningkat ke angka 1200,20 mt $\text{CO}_2\text{eq/tahun}$. Gas rumah kaca dapat dihasilkan dari aktivitas manusia, seperti alih fungsi lahan dan hutan, pembakaran gas fosil seperti kendaraan, penggunaan sistem pendingin ruangan dan lainnya. Gas-gas yang dihasilkan salah satunya CO_2 menyebabkan suhu udara menjadi lebih panas dan menyebabkan adanya perubahan iklim dengan dampak-dampak seperti perubahan cuaca ekstrem, mencairnya es di kutub, kenaikan permukaan air laut, migrasi habitat sampai kepunahan spesies (Irma & Gusmira, 2024).

Aksi mitigasi perubahan iklim dapat dilakukan melalui penanaman pohon yang berperan dalam menyimpan dan menyerap karbon, memperbaiki kualitas lingkungan, dan mendukung keberlanjutan hutan. Vegetasi hutan mampu menyerap CO_2 melalui fotosintesis dan menyimpannya dalam bentuk biomassa maupun

nekromassa (Karim et al., 2019). Hutan Penelitian Gunung Dahu (HPGD) merupakan salah satu model mitigasi iklim dengan luas 250 ha, yang dikembangkan melalui berbagai skenario penanaman. Pada blok penelitian, ditanam berbagai jenis meranti dengan variasi jarak tanam, salah satunya *Rubroshorea selanica* (DC.) P.S.Ashton & J.Heck yang memiliki potensi tinggi sebagai penyerap karbon dan jenis kayu komersial (Khairunnisa et al., 2022). Jenis ini juga memiliki batang lurus dan bernilai ekonomi tinggi (Solissa et al., 2023). Penanaman dilakukan menggunakan dua sumber bibit, yaitu *seed* (biji) dan stek.

Upaya perbanyakan secara vegetatif melalui stek ini sejalan dengan program rehabilitasi HPGD telah dirintis sejak 1997 yang bekerja sama dengan PT Komatsu. Penerapan teknologi KOFFCO (*Komatsu Forda Fog Cooling System*) dalam pengembangan Hutan Penelitian Gunung Dahu (HPGD) terbukti sukses mengatasi hambatan perbanyakan tanaman secara vegetatif yaitu melalui stek (Ferdianti et al., 2022). Teknik stek paling banyak diterapkan dan cukup efektif untuk perbanyakan beberapa spesies *Dipterocarpaceae*. Keberhasilan kegiatan penanaman juga dipengaruhi oleh metoda reproduksi, yang dalam beberapa kasus berpengaruh terhadap pertumbuhan tinggi tanaman (Harrison et al., 2023). Pada jenis-jenis dipterokarpa, perbedaan metoda reproduksi sering menimbulkan variasi dalam daya tumbuh dan kemampuan beradaptasi (Abadayan & Coraacero, 2024). Perbedaan tersebut pada akhirnya akan memengaruhi besarnya kapasitas pohon dalam menyerap dan menyimpan karbon. Salah satunya pada *R. selanica* di HPGD, keberhasilan pertumbuhannya tidak hanya memperlihatkan potensi pemulihan ekosistem terdegradasi, tetapi juga

memberi kontribusi besar dalam simpanan karbon. Oleh sebab itu, pengukuran dan perhitungan simpanan karbon dari berbagai metoda reproduksi sangat penting untuk menilai potensi dan distribusi biomassa dan simpanan karbon serta pengaruhnya sekaligus mendukung strategi pengelolaan hutan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan menganalisis biomassa dan simpanan karbon pada tegakan *Rubroshorea selanica* berdasarkan perbedaan metoda reproduksi di Hutan Penelitian Gunung Dahu.

2. Metodologi

2.1. Lokasi Penelitian

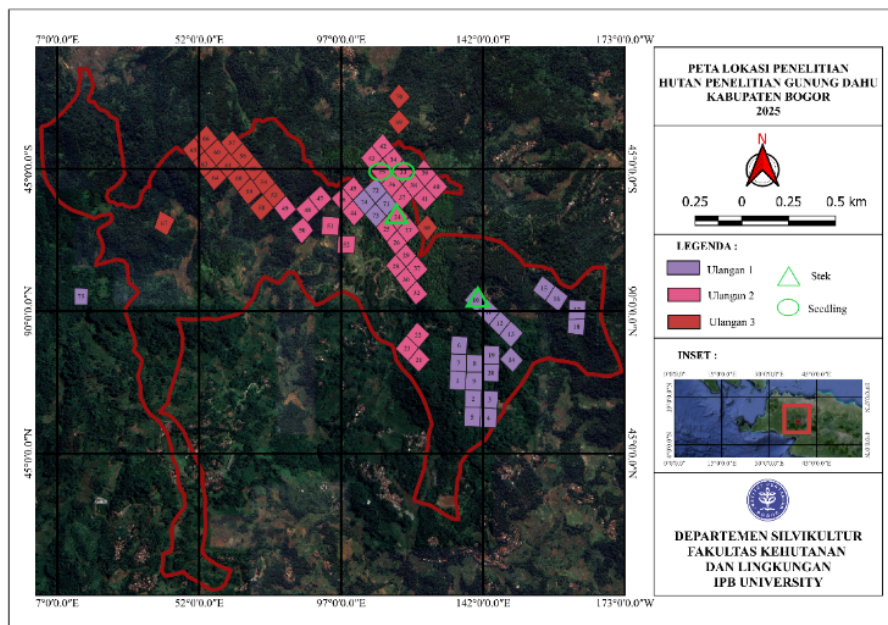
Penelitian dilaksanakan di Hutan Penelitian Gunung Dahu pada bulan Oktober -Desember 2025. Secara administrasi kehutanan berada di wilayah Perum Perhutani Unit III Jawa Barat dan Banten, KPH Bogor, BKPH Leuwiliang

(Gambar 1). Analisis data lanjutan di Departemen Silvikultur Fakultas Kehutanan dan Lingkungan IPB University.

2.2. Metode

2.2.1. Pembuatan Petak Contoh dan Petak Analisis Pembuatan Vegetasi

Pengambilan data menggunakan *purposive sampling* pada blok dengan jarak tanam 2 m × 2 m dan pola tanam jalur. Ukuran blok tanam sebesar 1 ha yang mana pada penelitian ini menggunakan 2 blok pada blok 10 dan 24 bibit berasal dari stek serta 33 dan 35 bibit berasal dari *seed*. Setiap blok terdiri dari tiga plot 20 m × 20 m sebagai ulangan yang terletak dalam plot, dengan analisis vegetasi bertingkat 20 m × 20 m (pohon), 10 m × 10 m (tiang), 5 m × 5 m (pancang), dan 2 m × 2 m (semai/tumbuhan bawah) (SNI 7724: 2019).



Gambar (Figure) 1. Peta penelitian Hutan Penelitian Gunung Dahu (*Research map of the Gunung Dahu Research Forest*)

2.2.2. Pengambilan Data Vegetasi serta Parameter Biofisik dan Lingkungan

Pengukuran karbon dilakukan secara destruktif (semai, tumbuhan bawah, serasah) dan *non-destructive* (alometrik) pada tingkat pancang, tiang dan pohon. Vegetasi diklasifikasikan menjadi pancang, tiang, dan pohon dengan pengukuran diameter setinggi dada (dbh) dan tinggi total (Pratama et al., 2016). Biomassa tumbuhan bawah dan serasah diambil pada sub petak 2 m × 2 m. Kerapatan tajuk yang dapat dilihat klasifikasinya pada Tabel 1 diukur dengan kamera *fisheye* dan dianalisis menggunakan *Gap Light Analyzer* lalu nilainya dikategorikan berdasarkan nilai *Leaf Area Index* (LAI).

Data biofisik seperti suhu, kelembapan, ketinggian, pH dan suhu

tanah, serta kemiringan lahan. Klasifikasi lereng disajikan pada Tabel 2.

2.2.3. Pengeringan

Tumbuhan bawah dan serasah (± 300 g) dikeringkan pada 80°C selama 48 jam atau sampai beratnya stabil atau konstan (SNI 7724: 2019), lalu ditimbang untuk memperoleh berat kering menggunakan timbangan analitik.

2.3. Analisis Data

2.3.1. Perhitungan Potensi Biomassa Tegakan dan Nekromassa Pohon

Biomassa tegakan dihitung secara *non-destructive* menggunakan alometrik *Dipterocarpa* (Manuri et al., 2016) untuk pancang, tiang, dan pohon dengan menggunakan rumus seperti Tabel 3.

Tabel (Table) 1. Klasifikasi kerapatan tajuk pohon secara digital *hemispherical photography* (*Digital hemispherical photography classification of tree canopy density*)

Nomor (No)	Klasifikasi kerapatan tajuk (<i>Canopy density classification</i>)	Nilai LAI (<i>LAI Value</i>)
1	Sangat rapat (<i>Very dense</i>)	> 2,3
2	Rapat (<i>Dense</i>)	1,7 - 2,3
3	Tidak rapat (<i>Sparse</i>)	0,1 - 1,7

Sumber (Source): Ratnasih (2012)

Tabel (Table) 2 Klasifikasi lereng (*Slope classification*)

Kelas (Class)	Lereng (Slope)	Klasifikasi (Classification)
I	0 - 8	Datar (<i>Flat</i>)
II	8 - 15	Landai (<i>Gentle slope</i>)
III	15 - 25	Agak curam (<i>Moderateleely steep</i>)
IV	25 - 45	Curam (<i>Steep</i>)
V	> 45	Sangat curam (<i>Very steep</i>)

Sumber (Source): Kemenhut (2013)

Tabel (Table) 3 Rumus persamaan alometrik (*Allometric equation formula*)

Jenis pohon (<i>Tree species</i>)	Persamaan alometrik (<i>Allometric equation</i>)	Sumber (Source)
<i>R. selanica</i> ($D > 5$)	$B = 0.277 (D^2G)^{1.238}$	Manuri et al., (2016)
<i>R. selanica</i> ($D < 5$)	$B = 0.13868(D^2H)^{0.672652}$	Adinugroho et al., (2023)
Jenis lainnya (<i>Other species</i>)	$B = 0.088(D^2GH)^{0.954}$	Manuri et al., (2017)

Keterangan (Remarks): B = biomassa total (kg/pohon) (*total biomass (kg/tree)*), D = diameter batang (*stem diameter*) (cm), H = tinggi total pohon (*total tree height*) (m), G = kerapatan kayu (*wood density*) (g/cm³)

Nilai biomassa per pohon kemudian dijumlahkan sehingga menjadi total biomassa (kg/ha):

$$Y_{\text{total}} = \sum (BP1 + BP2 + \dots BPn)$$

Keterangan:

Y_{total} = Biomassa total (kg/ha),

BP1 = Biomassa pohon ke-1, dan

BPn = Biomassa pohon ke-n

Nekromassa diduga dari biomassa pohon yang dikalikan tingkat keutuhan pohon mati (BSN, 2011).

$$N_i = B_i \times f$$

Keterangan:

N_i = Nekromassa (kg),

B_i = Biomassa (kg),

F = Tingkat keutuhan pohon mati, nilai f menunjukkan tingkat keutuhan pohon mati, semakin kecil nilainya, semakin lapuk. Faktor koreksi mengacu pada Hidayat et al. (2019).

Kayu mati yang tumbang di permukaan tanah dihitung menggunakan persamaan sesuai SNI 7724:2019.

$$V_{km} = 0.25\pi \left(\frac{d_p + d_u}{2 \times 100} \right)^2 \times p$$

Keterangan:

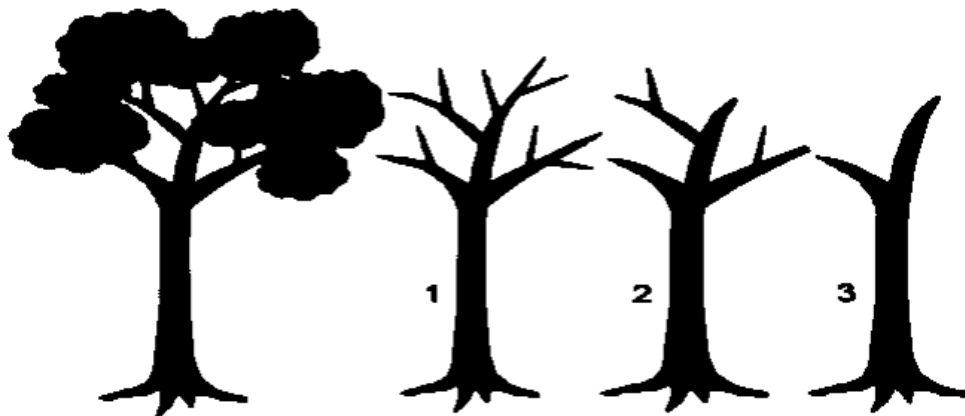
V_{km} = volume kayu mati (m^3),

d_p = diameter pangkal kayu mati (cm),

d_u = diameter ujung kayu mati (cm),

P = panjang kayu mati (m), dan

π = 22/7 atau 3,14



Sumber (Source): Hidayat et al. (2019)

Keterangan:

1 = Tingkat keutuhan pohon mati tanpa daun dengan faktor koreksi 0,9.

2 = Tingkat keutuhan pohon tanpa daun dan ranting dengan faktor koreksi 0,8.

3 = Tingkat keutuhan pohon tanpa daun, ranting, dan cabang dengan faktor koreksi 0,7

Gambar (Figure) 2. Tingkat keutuhan pohon mati (*Dead tree integrity level*)

2.3.2. Perhitungan Potensi Biomassa Tumbuhan Bawah, Semai, Serasah, Kayu Mati Kecil

Berat kering total (BKT) dihitung menggunakan rumus menurut Haygreen & Bowyer (1989) sebagai berikut:

$$BKT = \frac{BKC}{BBC} \times BBT$$

Keterangan:

BKT = Berat kering tanur/biomassa (g),

BKC = Berat kering contoh (g),

BBT = Berat basah total (g), dan

BBC = Berat basah contoh (g)

Biomassa *belowground* (akar) dihitung menggunakan rumus IPCC (2019) dengan nisbah pucuk-akar hutan hujan tropis.

BGB = Total AGB x Nisbah pucuk akar

Keterangan:

BGB = *Belowground* (g),

Total AGB = Total biomassa *aboveground*,

Nisbah pucuk akar = 0,325

2.3.3. Perhitungan Potensi Karbon

Estimasi karbon dilakukan dengan mengonversi biomassa dan nekromassa menggunakan faktor 0,47 (IPCC, 2006).

$$C = B \times C - \text{Organik}$$

Keterangan:

C = Karbon tersimpan (kg/pohon),

B = Biomassa (kg/pohon),

C-organik = 0,47 atau 47%

Hasil perhitungan karbon per pohon (kg/pohon) kemudian dikonversi ke dalam bentuk ton/ha menggunakan persamaan berikut:

$$C = \frac{Y}{LH} \times 1000$$

Keterangan:

C = Simpanan karbon (ton/ha),

Y = Biomassa (kg),

LH = Luas lahan (ha),

1.000 = Nilai konversi kg ke ton.

2.3.4. Kondisi Tempat Tumbuh

Pengukuran parameter lingkungan pada lokasi penelitian, meliputi suhu udara, kelembapan udara, lereng, ketinggian tempat, pH tanah, dan suhu tanah. Suhu dan kelembapan udara diukur menggunakan *thermo-hygrometer*, sedangkan lereng diukur menggunakan *clinometer*. Ketinggian tempat diukur menggunakan GPS atau altimeter. Pengukuran pH tanah dilakukan menggunakan *soil pH meter*, sementara suhu tanah diukur menggunakan *soil thermometer*. Seluruh pengukuran dilakukan secara langsung di lapangan pada plot pengamatan untuk memperoleh data kondisi mikroklimat dan karakteristik lingkungan.

2.3.5. Analisis Statistik

Hasil pendugaan simpanan karbon dari berbagai sumber bibit dianalisis menggunakan uji ANOVA *oneway*. Jika nilai signifikansi < 0,05 maka terdapat pengaruh signifikan. Sebelumnya dilakukan uji normalitas untuk memastikan distribusi data. Selain itu, uji Spearman digunakan untuk melihat korelasi faktor lain terhadap simpanan karbon.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil

Karakteristik lokasi penelitian dari dua sumber bibit stek dan *seed* dapat dilihat pada Tabel 4. Secara umum kedua kondisi lingkungan memiliki karakteristik tersendiri baik secara abiotik maupun biotik. Kondisi tempat tumbuh di tegakan sumber bibit stek dan *seed* tidak berbeda signifikan. Luas bidang dasar termasuk ke dalam kategori sedang dengan nilai berturut-turut 27,79 m²/ha dan 26,79 m²/ha. Hutan Penelitian Gunung Dahu memiliki ketinggian tempat bervariasi dan kondisi topografi yang beragam dengan rentang lereng antara 21-56%.

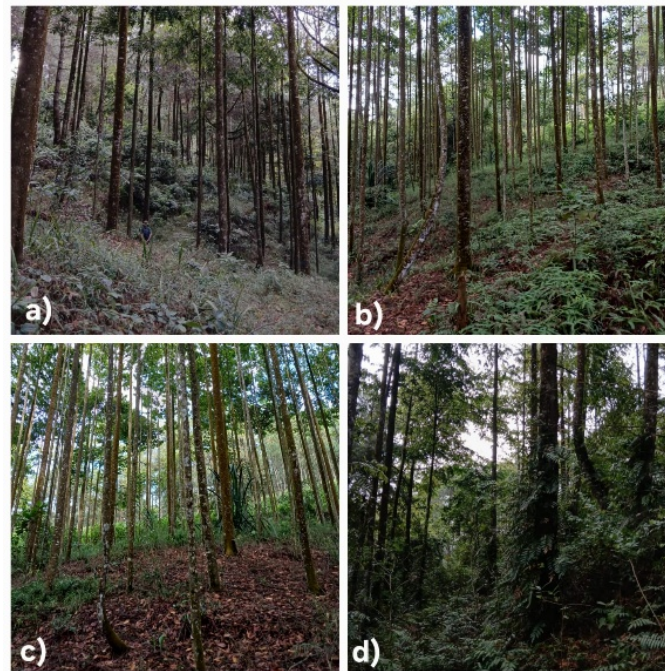
Pengambilan data dilakukan direntang waktu yang sama antara pagi sampai sore pada hari yang berbeda dengan 3 kali ulangan. Lokasi yang tegakannya dengan sumber bibit stek memiliki suhu rata-rata lebih rendah, yaitu 24,18°C dibandingkan tegakan sumber bibit *seed*, yaitu 26,18°C. Kondisi tanah di kedua lokasi cenderung lembap dan subur dikarenakan tingginya curah hujan. Keasaman tanah di kedua lokasi penelitian tersebut tergolong masam dengan pH tanah berkisar antara 6,01-

6,59. Suhu tanah di kedua lokasi relatif sama, yaitu 21,83°C. Tegakan yang asal bibit stek ditanam pada tahun 1997 dan 1998.

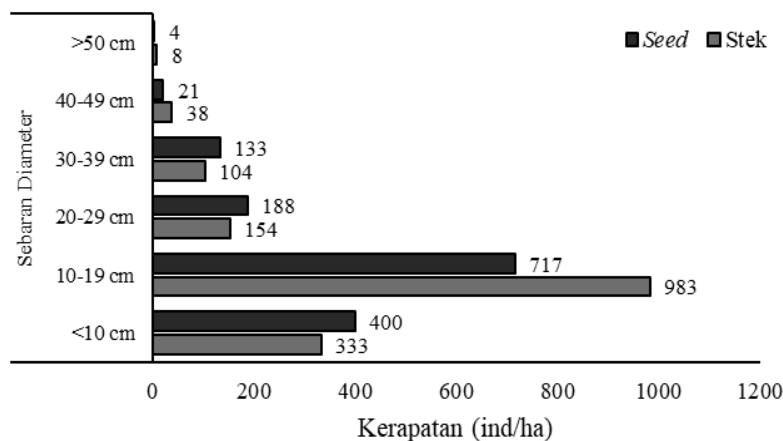
Kondisi tegakan pada petak pengamatan banyak ditumbuhi oleh jenis *R. selanica* baik pada plot dengan sumber bibit stek maupun *seed*. Selain itu terdapat jenis-jenis tegakan lain yang tumbuh seperti *Pinus merkusii*, *Hevea brasiliensis* tanaman kopi dan lainnya. Lokasi di semai dan tumbuhan bawah jenis yang ditemukan seperti: *R. selanica*, *P. merkusii*, *Cinnamomum* sp., *Schima wallichii*, *Clidemia hirta*, *Phlebodium aureum*, *H. brasiliensis*, *Dicranopteris linearis*, *Eleutherine palmifolia* dan lainnya. Keberadaan semai dan tumbuhan bawah tidak merata, terdapat petak pengamatan yang cenderung memiliki cukup banyak tumbuhan bawah dan semai, tetapi ada juga petak pengamatan yang cenderung memiliki semai dan tumbuhan bawah yang sedikit jumlahnya. Namun keberadaan tumbuhan bawah cenderung lebih banyak dibandingkan dengan keberadaan semai yang sangat sedikit di kedua petak pengamatan dengan sumber bibit yang berbeda.

Tabel (Table) 4. Kondisi tempat tumbuh petak pengamatan (*Growing site conditions of the observation plots*)

Parameter (<i>Parameter</i>)	Metoda reproduksi tanaman (<i>Plant reproductive methods</i>)	
	Stek (<i>Cutting</i>)	Biji (<i>Seed</i>)
1. Jarak tanam (<i>Planting distance</i>) (m)	2 x 2	2 x 2
2. Suhu (<i>Temperature</i>) (°C)	24,18	26,18
3. Kelempapan (<i>Humidity</i>) (%)	89,9	83,65
4. Tahun tanam (<i>Planting year</i>)	1997 dan 1998	1997
5. Lereng (<i>Slope</i>)	Curam-sangat curam (<i>Steep-very steep</i>)	Curam-sangat curam (<i>Steep-very steep</i>)
6. Ketinggian (<i>Altitude</i>) (mdpl)	755	776
7. pH tanah (<i>Soil pH</i>)	6,59	6,01
8. Suhu tanah (<i>Soil temperature</i>) (°C)	21,83	21,83
9. LBDS (<i>Base area</i>) (m ² /ha)	27,79	26,79



Gambar (Figure) 3. Kondisi tegakan *R. selanica* pada petak pengamatan (a) dan (b) plot asal bibit *seed*, dan (c) dan (d) plot asal bibit stek (*Condition of R. selanica stands in the observation plots (a) and (b) seed plots of origin, and (c) and (d) cutting plots of origin*)



Gambar (Figure) 4. Sebaran diameter berdasarkan sumber bibit pada petak pengamatan (*Diameter distribution based on seed source at the observation plots*)

Gambar 4 menunjukkan kelas diameter 10-19 cm mendominasi, diikuti 20-29 cm dan 30-39 cm, menunjukkan tegakan berada pada fase tiang menuju pohon. Diameter kecil (< 10 cm) relatif sedikit, sedangkan diameter besar

menurun. Tegakan stek dominan pada kelas 10-19 cm, sedangkan *seed* memiliki proporsi diameter besar lebih tinggi.

Tegakan *R. selanica* asal stek memiliki rata-rata diameter sebesar

22,73 ± 11,01 cm yang dapat dilihat pada Tabel 5, sedangkan untuk asal bibit *seed* sebesar 22,99 ± 9,68 cm. Pada kategori semua jenis, rata-rata diameter stek sebesar 22,71 ± 11,35 cm dan *seed* 23,93 ± 9,03 cm. Terlihat bahwa rata-rata diameter *seed* sedikit lebih besar.

Nilai biomassa dan nekromassa pada tegakan *R. selanica* menunjukkan variasi antar plot dan sumber bibit, baik pada komponen *aboveground* maupun *belowground*. Secara umum biomassa atas permukaan memiliki nilai yang jauh lebih besar dibandingkan biomassa bawah permukaan pada seluruh plot pengamatan. Pada sumber bibit *seed*,

biomassa *aboveground* sebesar 224,86 ± 24,68 ton/ha, sedangkan pada stek sebesar 259,66 ± 33,08 ton/ha. Biomassa *belowground* pada tegakan asal benih biji sebesar 76,91 ± 8,67 ton/ha dan pada tegakan asal benih stek sebesar 85,47 ± 10,89 ton/ha. Secara umum, nilai biomassa pada asal benih biji relatif stabil antar plot dan tidak menunjukkan fluktuasi setajam pada stek. Adapun distribusi biomassa dan nekromassa berdasarkan sumber bibit pada petak pengamatan didominasi oleh biomassa dengan nilai yang jauh lebih besar seperti yang terlihat pada Gambar 5.

Tabel (Table) 5. Hasil analisis statistik diameter tegakan pada petak pengamatan (*Statistical analysis results of stand diameter at the observation plots*)

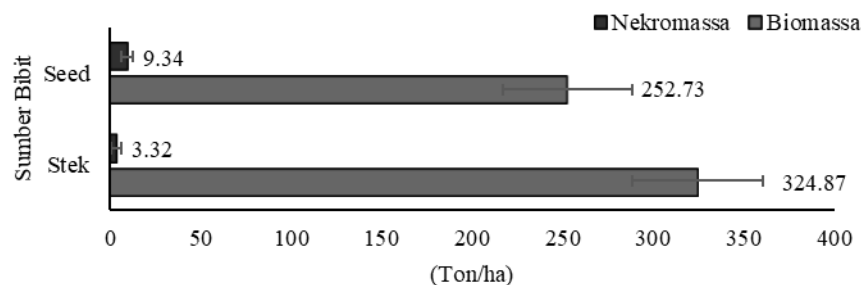
Tegakan asal bibit (<i>Stand of seed origin</i>)	N	Diameter (cm)	
		<i>Rubroshorea selanica</i>	Semua jenis (<i>All species</i>)
1. Stek (<i>Cutting</i>)	136	22,73 ± 11,01	22,71 ± 11,35
2. Biji (<i>Seed</i>)	133	22,99 ± 9,68	23,93 ± 9,03

Keterangan (Remark): *Mean* ± SD

Tabel (Table) 6. Nilai biomassa dan nekromassa (*Biomass and necromass values*)

Tegakan asal bibit (<i>Stand of seed origin</i>)	Biomassa (<i>Biomass</i>) (ton/ha)		Nekromassa (<i>Necromass</i>) (ton/ha)	Total (<i>Total</i>)
	Di atas permukaan (<i>Aboveground</i>)	Di bawah permukaan (<i>Belowground</i>)		
1. Stek (<i>Cutting</i>)	259,66 ± 33,08	85,47 ± 10,89	3,32 ± 1,47	348,45
2. Biji (<i>seed</i>)	224,86 ± 24,68	76,91 ± 8,67	11,8 ± 5,39	313,57

Keterangan (Remark): *Mean* ± SD



Gambar (Figure) 5. Distribusi biomassa dan nekromassa berdasarkan sumber bibit pada petak pengamatan (*Distribution of biomass and necromass based on seed source in the observation plots*)

Secara umum, biomassa pada seluruh blok penelitian didominasi oleh biomassa atas permukaan di kedua sumber bibit di atas 70%. Kontribusi biomassa bawah permukaan berada pada urutan kedua, sedangkan dengan kontribusi nekromassa dan serasah memberikan kontribusi yang relatif kecil dengan kontribusi di bawah 0,2%. Pola ini menunjukkan bahwa sebagian besar karbon tersimpan pada vegetasi hidup dan konsisten pada seluruh blok, baik pada sumber bibit stek maupun *seed* hal ini dapat dilihat pada Tabel 7.

Sumber bibit stek simpanan karbon tingkat pohon berkisar antara 91,83 tonC/ha yang dapat dilihat pada Tabel 7. Tingkat tiang pada tegakan yang berasal dari sumber bibit stek berkisar 28,17 tonC/ha, sedangkan pancang umumnya tergolong rendah yang mana hanya bernilai 0,82 tonC/ha. Pada sumber bibit *seed*, karbon untuk tingkat pohon sebesar 68,34 tonC/ha, tingkat tiang 29,43 tonC/ha, dan pancang relatif kecil sekitar 2,09 tonC/ha.

Tabel (Table) 7. Potensi simpanan karbon pada blok *R. selanica* (Carbon storage potential at the *R. selanica* block)

Pool karbon (<i>Pool carbon</i>)	Stek (<i>Cutting</i>) ton/ha	Kontribusi (<i>contribution</i>) (%)	Biji (<i>Seed</i>) ton/ha	Kontribusi (<i>contribution</i>) %
1. Biomassa di atas permukaan (<i>Aboveground biomass</i>)	260,05 ± 33,36	74,66	225,15 ± 24,78	72,36
2. Biomassa di atas permukaan (<i>lowground biomass</i>)	85,47 ± 10,89	24,54	76,91 ± 8,67	24,72
3. Nekromas (<i>Deadwood</i>)	2,37 ± 1,45	0,68	8,78 ± 7,99	2,82
4. Serasah (<i>Litter</i>)	0,41 ± 0,28	0,11	0,31 ± 0,19	0,10
5. Karbon tanah (<i>Soil organic carbon</i>)	-	-	-	-
Total	348,3 ± 45,98		311,15 ± 41,63	

Tabel (Table) 8. Potensi simpanan karbon pada blok *R. selanica* (Carbon storage potential at the *R. selanica* block)

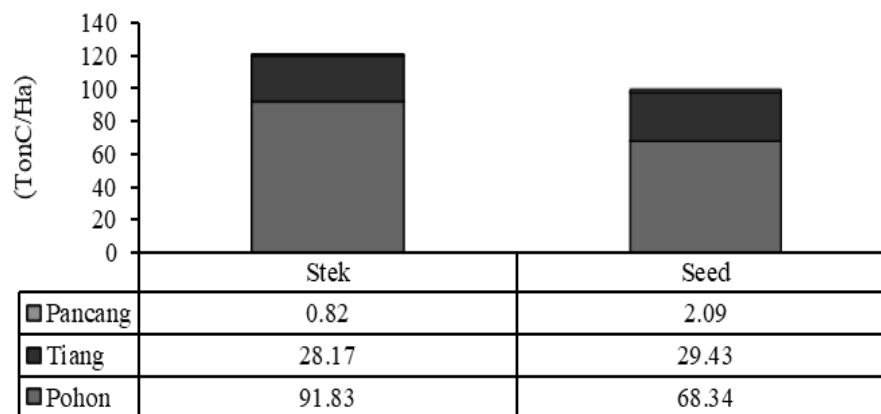
Tegakan asal bibit (<i>Stand of seeding origin</i>)	Simpanan karbon (<i>Carbon stock</i>) (tonC/ha)				
	Di atas permukaan (<i>Above ground</i>)				Di bawah permukaan (<i>Below ground</i>)
	Pohon (<i>Tree</i>)	Tiang (<i>Pole</i>)	Pancang (<i>Sapling</i>)	Tumbuhan bawah dan semai (<i>Understory vegetation and seed</i>)	
1. Stek (<i>Cutting</i>)	91,83 ± 15,00	28,17 ± 8,32	0,82 ± 0,71	1,21 ± 0,31	40,17 ± 5,12
2. Biji (<i>Seed</i>)	68,34 ± 5,27	29,43 ± 7,43	2,09 ± 1,37	0,93 ± 0,09	35,98 ± 4,16

Simpanan karbon pada tegakan *R. selanica* menunjukkan bahwa karbon terbesar tersimpan pada tingkat pohon, kemudian tiang, sedangkan pancang memberikan kontribusi paling kecil bisa dilihat pada Gambar 6.

Secara umum, asal bibit *seed* memiliki nekromassa lebih tinggi pada pohon mati, sedangkan asal bibit stek sedikit lebih tinggi pada ranting mati. Pada serasah, kedua sumber bibit menunjukkan nilai yang relatif sama, hal ini dapat dilihat pada Tabel 9.

Dominasi jenis utama (*Shorea*) sangat menentukan besarnya simpanan karbon pada kedua sumber bibit. Namun, keberadaan jenis *non-Shorea* pada

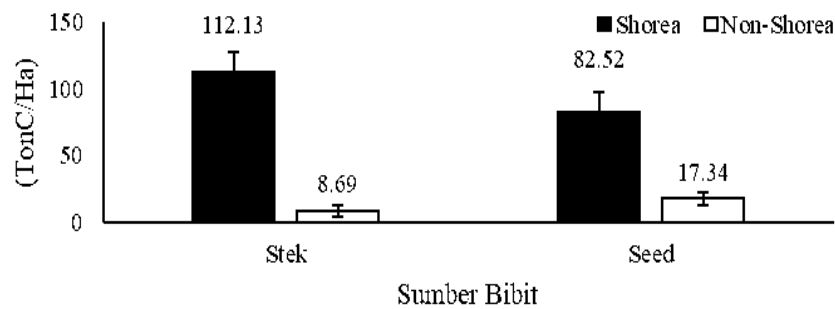
tegakan asal bibit biji memberikan tambahan kontribusi terhadap total karbon, meskipun tetap lebih kecil dibandingkan *Shorea* (Gambar 7). Jenis *Shorea* yang bibitnya stek memiliki nilai simpanan karbon sebesar 112,13 tonC/ha dan jenis *non-Shorea* sebesar 8,69 tonC/ha. Untuk sumber bibit asal biji memiliki nilai pada jenis *Shorea* 82,52 tonC/ha dan *non Shorea* sebesar 17,34 tonC/ha. Secara keseluruhan sumber bibit stek memiliki nilai simpanan karbon sebesar 120,82 tonC/ha, sedangkan nilai simpanan karbon pada sumber bibit dari biji sebesar 99,86 tonC/ha.



Gambar (Figure) 6. Distribusi simpanan karbon berdasarkan sumber bibit pertingkat pertumbuhan (*Carbon storage distribution based on seed source by growth stage*)

Tabel (Table) 9. Potensi Nekromassa pada blok *R. selanica* (*Necromass potential at the R. selanica block*)

Tegakan asal bibit (<i>Stand of seed origin</i>)	Nekromassa (<i>Necromass</i>) (tonC/ha)			
	Pohon mati (<i>Dead tree</i>)	Ranting mati (<i>Dead branch</i>)	Serasah (<i>Litter</i>)	Kayu mati (<i>Dead wood</i>)
1. Stek (<i>Cutting</i>)	1,57 ± 3,29	0,68 ± 0,36	1,07 ± 0,77	-
2. Biji (<i>Seed</i>)	10,45 ± 5,41	0,42 ± 0,05	0,92 ± 0,19	-



Gambar (Figure) 7. Simpanan karbon pada jenis *shorea* dan non-*shorea* (Carbon storage at *Shorea* and non-*Shorea* species)

Hasil analisis statistik menggunakan uji ANOVA terhadap simpanan karbon berdasarkan jenis vegetasi. Pada kelompok *Shorea*, diperoleh nilai F sebesar 0,867 dengan nilai signifikansi (*sig. 2-tailed*) sebesar 0,374, yang lebih besar dari taraf nyata 0,05 ($\alpha = 5\%$), sehingga menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik pada simpanan karbon dalam kelompok tersebut. Sementara itu, pada kelompok gabungan *Shorea* dan non-*Shorea*, diperoleh nilai F sebesar 0,770 dengan nilai signifikansi sebesar 0,401, yang juga lebih besar dari 0,05, sehingga menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik pada kelompok gabungan tersebut (Tabel 10).

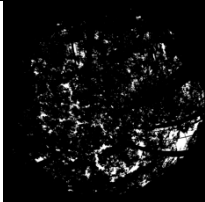
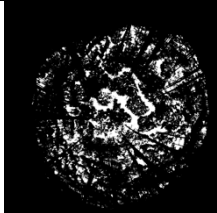
Nilai LAI pada tegakan dengan bibit dari stek memiliki nilai yang tinggi, yaitu 2,07 (sangat rapat), sedangkan pada tegakan dengan bibit dari biji memiliki nilai yang lebih kecil yaitu 1,83 (rapat).

Hasil korelasi Spearman menunjukkan tutupan tajuk berhubungan positif dan signifikan dengan simpanan karbon ($r = 0,622$; *Sig. < 0,05*) (Tabel 12), sehingga semakin besar tutupan tajuk, maka simpanan karbon meningkat. Sebaliknya, kemiringan lahan memiliki hubungan negatif yang sangat lemah dan tidak signifikan. Pada petak penelitian, kondisi lereng termasuk kategori curam-sangat curam. Hasil korelasi Spearman hanya dilakukan pada tegakan asal bibit biji karena memenuhi untuk diuji secara statistik. Hasil menunjukkan hubungan antara kemiringan lahan dan variabel yang diamati sangat lemah ($r = -0,098$) dan tidak signifikan (*Sig. = 0,0854*). Arah negatif mengindikasikan kecenderungan penurunan nilai pada lereng lebih curam, namun pengaruhnya kecil dan tidak bermakna.

Tabel (Table) 10. Hasil analisis statistik pada simpanan karbon (Statistical analysis results of carbon stocks)

Vegetasi (Vegetation)	F-hitung (F-value)	Sig. 2-tailed
1. <i>R. Selanica</i>	0,867	0,374
2. <i>R. Selanica</i> dan non- <i>Shorea</i>	0,770	0,401

Tabel (Table) 11 Perbandingan hasil pengukuran LAI (*Comparison of LAI measurement results*)

Parameter	Tegakan asal bibit (<i>Stand of seed origin</i>)	
	Stek (<i>Cutting</i>)	Biji (<i>Seed</i>)
1. Hasil analisis (<i>Analysis results</i>)		
2. Rata-rata nilai LAI (<i>Average LAI result</i>)	2,07	1,83
3. Klasifikasi (<i>Classification</i>)	Sangat rapat (<i>Very dense</i>)	Rapat (<i>Dense</i>)

Tabel (Table) 12. Hasil analisis korelasi faktor lain terhadap simpanan karbon (*Statistical analysis results of carbon stocks*)

Faktor (<i>Factor</i>)	F-hitung (<i>F-value</i>)	Sig. 2-tailed
1. Kanopi (<i>Canopy</i>)	0,622	0,031
2. Kelereng (<i>Slope</i>)	-0,098	0,085

3.2. Pembahasan

Jenis tanah pada HPGD adalah latosol yang umumnya memiliki struktur remah dan gembur, drainase baik, dengan warna coklat kemerahan (Widyastuti et al., 2024). Warna tanah sering kali dikaitkan dengan sifat tanah. Misalnya, warna tanah gelap mencirikan kandungan bahan organik tinggi karena memiliki C-organik yang tinggi (Fitriani et al., 2022). KLHK (2013) menyebutkan bahwa areal penelitian memiliki curah hujan 2.500-2.700 mm/tahun dan tipe iklim B menurut klasifikasi Schmidt dan Ferguson. Berdasarkan karakteristik kondisi tapak dan iklimnya tergolong sesuai dan mendukung pertumbuhan *R. selanica*, karena masih berada dalam kisaran optimal pertumbuhan *Dipterocarpaceae* yang umumnya berkembang baik pada tanah masam dengan drainase baik dan curah hujan tinggi. Namun jarak perbedaan jarak waktu penanaman

kurang dari 6 bulan yang artinya tidak terlalu signifikan berbeda. Pada tegakan dengan metoda perbanyakan biji semua petak pengamatan ditanam di tahun yang sama, yaitu 1997. Pada lokasi penelitian di Gunung Dahu, tegakan dengan jarak tanam 2 m × 2 m menunjukkan kondisi tegakan yang relatif paling baik dibandingkan dengan variasi jarak tanam lainnya pada jenis yang sama. Oleh karena itu, jarak tanam tersebut dipilih sebagai dasar pengambilan data karena dianggap paling representatif dalam menggambarkan karakteristik pertumbuhan dan kondisi tegakan.

Kelas diameter menengah memiliki jumlah individu tertinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa sebagian besar tegakan berada pada fase pertumbuhan tiang hingga menuju pohon, yang artinya struktur tegakan sedang dalam fase berkembang. Jumlah individu pada kelas diameter kecil (< 10 cm) relatif rendah, menunjukkan bahwa

regenerasi atau individu berdiameter sangat kecil tidak mendominasi struktur tegakan saat ini. Sementara itu, jumlah pohon semakin menurun pada kelas diameter besar. Pola penurunan jumlah individu seiring bertambahnya diameter merupakan karakteristik umum tegakan hutan karena hanya sebagian pohon yang mampu bertahan dan terus tumbuh akibat adanya kompetisi ruang, cahaya, dan unsur hara. Kalima (2008) menjelaskan bahwa adanya variasi sebaran kelas diameter terbentuk oleh komposisi dan susunan pohon dalam suatu tegakan hutan yang mengalami dinamika perubahan struktur. Perubahan tersebut diduga dipengaruhi oleh perbedaan kemampuan tiap pohon dalam memanfaatkan unsur hara makro dan mikro, energi cahaya matahari, serta air, termasuk perbedaan tingkat kompetisi antar individu dalam tegakan. Sementara itu, tegakan dari stek lebih mendominasi pada kelas 10-19 cm. Perbedaan ini menunjukkan bahwa tegakan asal bibit biji memiliki proporsi pohon berdiameter lebih besar yang relatif lebih tinggi, sehingga berpotensi memberikan kontribusi biomassa dan cadangan karbon yang lebih besar dibandingkan tegakan asal bibit stek. Sribianti et al. (2022) menyatakan bahwa nilai biomassa dipengaruhi oleh besarnya diameter pohon. Hal ini dikarenakan semakin besar diameter suatu pohon, maka nilai biomasanya juga akan semakin besar.

Keberadaan semai dan tumbuhan bawah dipengaruhi oleh tutupan tajuk yang memengaruhi masuknya cahaya matahari ke dalam hutan. Menurut Widyastuti et al. (2024), tumbuhan bawah merupakan jenis vegetasi yang mampu tumbuh dan berkembang dengan optimal pada kondisi lingkungan terbuka, terutama pada areal yang tidak ternaungi dan menerima intensitas cahaya matahari yang relatif tinggi. Keberadaan

semai dengan jenis utama *R. selanica* pun memiliki jumlah yang relatif sedikit. *R. selanica* pada fase semai memerlukan naungan ringan untuk mendukung pertumbuhan awalnya, namun tidak toleran terhadap penutupan tajuk yang terlalu rapat (Panjaitan et al., 2011). Meningkatnya fase pertumbuhan, maka kebutuhan cahaya menjadi lebih tinggi sehingga pertumbuhan optimal dicapai pada kondisi dengan intensitas cahaya yang lebih besar atau adanya celah tajuk.

Baik tegakan asal bibit stek maupun biji menunjukkan pola distribusi yang sama, yaitu dominasi biomassa pada komponen *aboveground* dengan proporsi sekitar tiga kali lebih besar dibandingkan *belowground*. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar akumulasi bahan organik tersimpan pada bagian vegetatif di atas permukaan tanah. Prayitno (2016) menjelaskan bahwa adanya perbedaan nilai biomassa dapat dipengaruhi oleh kerapatan dan diameter, jenis pohon, tinggi pohon, kesuburan tanah dan berat jenis kayu. Secara keseluruhan kedua sumber bibit memiliki potensi biomassa yang relatif sebanding, dengan variasi yang lebih dipengaruhi oleh kondisi lokal tegakan dibandingkan oleh asal bibit itu sendiri. Selain biomassa, perhitungan karbon dalam hutan juga dipengaruhi oleh nekromassa (Ramadhanti et al., 2023).

Sebagian besar simpanan karbon pada tegakan masih tersimpan dalam vegetasi hidup, sedangkan kontribusi bahan organik mati relatif kecil. Pada tegakan asal bibit stek menghasilkan total biomassa lebih tinggi dibandingkan tegakan asal bibit biji, hal ini menunjukkan bahwa akumulasi bahan organik hidup pada tegakan asal bibit stek relatif lebih besar yang mencerminkan pertumbuhan diameter dan tinggi pohon yang cukup baik pada beberapa plot. Sementara itu, tegakan asal bibit biji juga menunjukkan nilai

biomassa yang besar, namun secara total masih berada di bawah tegakan asal bibit stek. Perbedaan ini menggambarkan adanya variasi produktivitas tegakan antar sumber bibit, meskipun selisihnya tidak terlalu jauh berbeda. Komponen nekromassa pada kedua sumber bibit memiliki nilai yang jauh lebih kecil dibandingkan biomassa. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat kematian pohon atau akumulasi kayu mati di lokasi penelitian relatif rendah. Rendahnya nekromassa dapat dipengaruhi oleh arah dan kecepatan angin, suhu, kelembapan yang akan memengaruhi berat basah yang dimiliki (Suryani et al., 2024). Nilai biomassa berbanding lurus dengan nilai simpanan karbon. Biomassa memiliki hubungan dengan simpanan karbon. Jumlah cadangan karbon pada suatu tanaman, maka akan diperoleh gambaran banyaknya CO₂ yang disimpan dan diserap oleh tanaman (Bhaskara et al., 2018). Jika nilai biomassa tinggi, maka nilai cadangan karbonnya juga akan tinggi. Sebaliknya jika nilai biomassanya rendah, maka cadangan karbonnya juga akan rendah. Nilai cadangan karbon dapat dilihat dari biomassa tegakan yang ada (Heriyanto & Gunawan, 2020).

Dominasi kelas pohon ini menunjukkan bahwa struktur tegakan berada pada fase pertumbuhan menengah hingga lanjut, di mana sebagian besar biomassa terakumulasi pada strata tajuk atas. Pohon dengan diameter dan tinggi lebih besar memiliki biomassa yang jauh lebih tinggi dibandingkan fase pertumbuhan dibawahnya. Nainawa et al., (2023) menegaskan bahwa setiap wilayah memiliki simpanan karbon yang berbeda-beda. Simpanan karbon akan mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya usia pohon karena terjadinya perubahan terhadap dimensi

pohon, yaitu diameter dan tinggi, terutama peningkatan diameter (Köhl et al., 2017). Suryani et al. (2024) menjelaskan nilai simpanan karbon dipengaruhi oleh berbagai faktor, di antaranya kerapatan individu, keanekaragaman, berat jenis tanaman, usia pohon, kualitas lingkungan dan genetik. Dalam hal ini keanekaragaman pada blok *R. selanica* dengan sumber bibit dipengaruhi oleh adanya keanekaragaman jenis sehingga nilai total simpanan karbonnya mendekati nilai pada sumber bibit stek. Apabila dibandingkan antara kedua sumber bibit secara keseluruhan, tegakan yang asal bibit dari stek cenderung menunjukkan nilai simpanan karbon yang lebih tinggi dibandingkan tegakan asal bibit biji, terutama pada tingkat pohon. Namun, apabila ditinjau secara keseluruhan nilai total simpanan karbon di kedua sumber bibit tidak berbeda signifikan, artinya sumber bibit bukan merupakan faktor utama dalam meningkatkan nilai simpanan karbon.

Kanopi berhubungan erat dengan produktivitas primer karena daun merupakan organ utama fotosintesis, sehingga semakin luas permukaan daun dan rapat tajuk, maka semakin besar pula potensi penyerapan CO₂. Menurut Tambaru et al. (2023), serapan hara tanaman dapat memengaruhi fotosintesis yang terlihat dari luas daun. Kondisi kanopi dapat diukur melalui *Leaf Area Index* (LAI), yang menunjukkan kemampuan tanaman dalam menyerap radiasi untuk fotosintesis, pertumbuhan hutan, dan proses ekofisiologi. Dibandingkan tegakan yang berasal bibit biji, maka tegakan asal bibit stek menunjukkan tajuk yang lebih rapat pada beberapa plot, sehingga kemampuan mengintersepsi cahaya matahari dan fotosintesis lebih optimal. Sebaliknya, tegakan yang berasal bibit biji masih didominasi kategori tidak rapat hingga

rapat, yang menunjukkan penutupan tajuk belum berkembang sepenuhnya. Putra et al. (2022) menjelaskan bahwa semakin tinggi nilai LAI, maka semakin besar radiasi matahari yang dapat diintersepsi tumbuhan. Selain itu, plot dengan LAI tinggi cenderung memiliki biomassa dan simpanan karbon lebih besar, sehingga tegakan dengan asal bibit stek dengan kerapatan tajuk lebih tinggi cenderung memiliki biomassa dan simpanan karbon yang lebih besar. Namun, secara statistik sumber bibit tidak menunjukkan pengaruh nyata terhadap simpanan karbon.

Secara teoritis kelerengan memengaruhi pertumbuhan tegakan dan akumulasi biomassa melalui proses erosi, aliran permukaan, serta distribusi unsur hara dan kelembapan tanah. Namun, pada penelitian ini kemiringan lahan tidak menunjukkan pengaruh nyata terhadap simpanan karbon. Menurut Banjarnahor et al. (2018), penggerusan tanah oleh air pada daerah berlereng mengakibatkan tanah terkikis dan terangkut, sehingga produktivitas tanah menurun dan memengaruhi pertumbuhan vegetasi. Secara ekologis dapat membatasi pertumbuhan diameter dan tinggi pohon memengaruhi nilai simpanan karbon. Kemiringan lahan diketahui memengaruhi pertumbuhan vegetasi dimana vegetasi yang tumbuh pada lereng datar (8%) memiliki pertumbuhan yang lebih bagus dibandingkan pada kemiringan lahan 28% dan 35% (Khairani, 2019). Artinya semakin curam lahan, maka pertumbuhan akan terganggu sehingga nilai simpanan karbonnya juga semakin sedikit. Secara ekologis, lereng dapat memengaruhi kondisi tanah seperti kedalaman solum, erosi, dan ketersediaan air. Tetapi pada areal penelitian ini diduga terdapat faktor lain yang lebih dominan, seperti struktur

tegakan, diameter pohon, kerapatan tanaman, atau kondisi kesuburan tanah.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

Tegakan *R. Selanica* dengan sumber bibit stek cenderung menunjukkan nilai simpanan karbon yang lebih tinggi dibandingkan tegakan yang bibitnya dari biji, terutama pada tingkat pohon. Namun, sumber bibit tidak berpengaruh nyata terhadap simpanan karbon tetapi lebih dipengaruhi oleh faktor lain seperti diameter. Nilai kerapatan tajuk di kedua sumber bibit termasuk dalam kategori sedang hingga cukup rapat, yang menunjukkan struktur tegakan yang baik. Tegakan dengan kerapatan tajuk yang lebih rapat cenderung memiliki nilai simpanan karbon yang lebih tinggi, meskipun pengaruh tersebut tidak selalu signifikan secara statistik. Dimana semakin rapat kerapatan tajuk maka semakin tinggi nilai simpanan karbonnya. Faktor kemiringan lahan tidak berpengaruh terhadap besarnya simpanan karbon.

4.2. Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan jumlah sampel yang lebih besar serta mempertimbangkan variabel lingkungan seperti sifat tanah, kelembapan, dan intensitas cahaya guna memperoleh gambaran yang lebih baik mengenai faktor-faktor yang memengaruhi simpanan karbon. Selain itu, perlu dilakukan pengamatan jangka panjang untuk mengetahui dinamika pertumbuhan dan akumulasi biomassa secara periodik sehingga estimasi simpanan karbon dapat dilakukan dengan tingkat ketelitian yang lebih tinggi.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Kepala Pusat Pengembangan Hutan Berkelanjutan yang telah memberikan ijin untuk melakukan penelitian, dan kepada staf Hutan Penelitian Gunung Dahu yang telah membantu kegiatan di lapangan.

Daftar Pustaka

- Abadayan, J., & Coraacero, E. (2024). Seed Growth And Survival Of The Endangered *Pterocarpus Indicus* Willd. (Fabaceae) As Affected By Provenances And Biofertilizer Amendments. *Forestist*, 74(2), 166–174.
<https://doi.org/10.5152/forestist.2024.23010>
- Adinugroho, W.C., Krisnawati, H., Imanuddin, R., Siregar, C.A., Weston, C.J., & Volkova, L. (2023). Developing Biomass Allometric Equations For Small Trees In Mixed-Species Forests Of Tropical Rainforest Ecozone. *Trees, Forests and People*, 13(August), 100425.
<https://doi.org/10.1016/j.tfp.2023.100425>
- Banjarnahor, N., Hindarto, K.S., & Fahrurrozi. (2018). Hubungan Kelerengan Dengan Kadar Air Tanah, Ph Tanah, Dan Penampilan Jeruk Gerga di Kabupaten Lebong. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*, 20(1), 13–18.
<https://doi.org/10.31186/jipi.20.1.13-18>
- Bhaskara, D.R., Qurniati, R., Duryat, & Banuwa, I.S. (2018). Karbon Tersimpan Pada Repong Damar Pekon Pahmungan, Kecamatan Pesisir Tengah, Kabupaten Pesisir Barat. *Jurnal Sylva Lestari*, 6(2), 32.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2011). *Pengukuran Dan Penghitungan Cadangan Karbon: Pengukuran Lapangan Untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan (Groundbased Forest Carbon Accounting)*. Badan Standardisasi Nasional.
- European Commission Joint Research Centre. (2025). *GHG Emissions Of All World Countries: 2024 report* (Number October). Publications Office of the European Union.
<https://doi.org/10.2760/173513>
- Ferdianti, W., Wasis, B., & Lisnawati, Y. (2022). Dampak revegetasi Hutan Dengan Tegakan Meranti di Hutan Penelitian Gunung Dahu (HPGD) Bogor Jawa Barat Terhadap Karakteristik Dan Kesuburan Tanah. *Jurnal Penelitian Hutan Dan Konservasi Alam*, 19(1), 49–67.
- Fitriani, D.A., Mahrup, M., Yasin, I., & Bakti, L.A.A. (2022). Kecenderungan Warna Tanah Dan Status Bahan Organik Pada Lahan Pertanian Yang Mengalami Penutupan Awan Rendah Berbasis Peta Terra MODIS di Pulau Lombok. *Journal of Soil Quality*, 1(1), 1–6.
<https://jsqm.unram.ac.id/index.php/jsqm>
- Harrison, M.E., Sintes, P.B., Kusin, K., Katoppo, D.R., Marchant, N.C., Morrogh-Bernard, H.C., Nasir, D., Capilla, R., Salahudin, Suppan, L., Veen, F., & Smith, S. W. (2023). Accounting For Seedling Performance From Nursery To Outplanting When Reforesting

- Degraded Tropical Peatlands. *Restoration Ecology*, 31(8), 1–12. <https://doi.org/10.1111/rec.13984>
- Heriyanto, N.M., & Gunawan, H. (2020). Keanekaragaman Jenis Pohon Dan Potensi Serapan Karbon Taman Kehati Bumi Patra, Indramayu, Jawa Barat. *Buletin Kebun Raya*, 23(3), 210–219. <https://doi.org/10.14203/bkr.v23i3.668>
- Hidayat, M.T., Aatiani, D., & Dewantara, I. (2019). Estimasi Stok Karbon Pada Vegetasi Hutan Rawa Gambut Di Kawasan Lindung IUPHHK-HTI PT Muara Sungai Landak Kabupaten Mempawah Provinsi Kalimantan Barat. *Jurnal Hutan Lestari*, 7(1), 551–558.
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). *IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*. Institute for Global Environmental Strategies.
- Irma, M.F., & Gusmira, E. (2024). Tingginya Kenaikan Suhu Akibat Peningkatan Gas Rumah Kaca di Indonesia. *JSSIT: Jurnal Sains Dan Sains Terapan*, 2(1), 26–32.
- Kalima, T. (2008). Profil Keragaman Dan Keberadaan Spesies Dari Suku Dipterocarpaceae di Taman Nasional Meru Betiri, Jember. *Jurnal Penelitian Hutan Dan Konservasi Alam*, 5(2), 175–191.
- Karim, M.A., Purwiyanto, A.I.S., & Agustriani, F. (2019). Analysis Of Carbon Content (C) Production Rate Of Mangrove Litter At Pulau Payung, Banyuasin District. *Marine Science Research Journal*, 11(1), 1–8.
- [KLHK] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2013). *Peraturan Direktur Jenderal Bina Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Perhutanan Sosial Nomor 3 Tahun 2013 tentang Pedoman Identifikasi Karakteristik Daerah Aliran Sungai*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Khairani, K.I. (2019). *Pengaruh Lereng Terhadap Karakteristik Tanah, Pertumbuhan Dan Kadar Hara Daun Tanaman Jati (Tectona grandis L.f) di Sukamakmur, Kabupaten Bogor*. [Skripsi, Institut Pertanian Bogor].
- Khairunnisa, S., Pamoengkas, P., & Hartoyo, A.P.P. (2022). Diameter Growth Performance And Estimated Carbon Stock Of *Shorea* spp. at KHDTK Haurbentes, Bogor. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 12(3), 501–510. <https://doi.org/10.29244/jpsl.12.3.501-510>
- Köhl, M., Neupane, P.R., & Lotfiomran, N. (2017). The impact of tree age on biomass growth and carbon accumulation capacity: A Retrospective Analysis Using Tree Ring Data Of Three Tropical Tree Species Grown In Natural Forests Of Suriname. *Plos One*, 12(8), 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181187>
- Manuri, S., Brack, C., Noor'an, F., Rusolono, T., Anggraini, S. M., Dotzauer, H., & Kumara, I. (2016). Improved Allometric Equations For Tree Aboveground Biomass Estimation In Tropical Dipterocarp Forests Of Kalimantan, Indonesia.

- Forest Ecosystems*, 3(1).
<https://doi.org/10.1186/s40663-016-0087-2>
- Manuri, S., Brack, C., Rusolono, T., Noor'an, F., Verchot, L., Maulana, S.I., Adinugroho, W.C., Kurniawan, H., Sukisno, D.W., Kusuma, G.A., Budiman, A., Anggono, R.S., Siregar, C.A., Onrizal, O., Yuniati, D., & Soraya, E. (2017). Effect Of Species Grouping And Site Variables On Aboveground Biomass Models For Lowland Tropical Forests Of The Indo-Malay region. *Annals of Forest Science*, 74(1), 1–14.
<https://doi.org/10.1007/s13595-017-0618-1>
- Nainawa, R.S., Rusdiana, O., & Mindawati, N. (2023). Potensi Karbon Tanah Pada Hutan Tanaman Tegakan Campuran *Schima wallichii* dan *Acacia mangium*. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 20(2), 115–129.
<https://doi.org/10.59465/jpht.v20i2.171>
- Panjaitan, S., Wahyuningtyas, R.S., & Ambarwati, D. (2011). Pengaruh naungan terhadap proses ekofisiologis dan pertumbuhan semai *Rubroshorea selanica* (DC.) Blume di persemaian. *Jurnal Penelitian Dipterokarpa*, 5(2), 73–82.
<https://doi.org/10.20886/jped.2011.5.2.73-82>
- Pratama, R., Sribudiani, E., & Sulaeman, R. (2016). Pendugaan Kandungan Karbon Di Atas Permukaan Tanah Pada Kawasan Arboretum Universitas Riau. *Jurnal Jom Faperta*, 3(1), 1–5.
- Prayitno, J. (2016). Pola Pertumbuhan Dan Pemanenan Biomassa Dalam Fotobioreaktor Mikroalga Untuk Penangkapan Karbon. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 17(1), 45–52.
- Putra, B.U., Krisnandika, A.A., & Dharmadiatmika, I.M. (2022). Pengaruh Kombinasi Kerapatan Kanopi Pohon Terhadap Kenyamanan Termal di Lapangan Puputan Margarana, Denpasar. *Jurnal Lanskap Indonesia*, 14(1), 16–21.
- Ramadhanti, S., Wasis, B., & Hilwan, I. (2023). Pendugaan Simpanan Karbon Pada Bagian Atas Dan Bawah Permukaan Tanah di Taman Hutan Raya Banten. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 20(1), 19–36.
- [SNI] Standar Nasional Indonesia. (2019). *Pengukuran dan perhitungan cadangan karbon hutan (groundbased forest carbon accounting)*. Badan Standardisasi Nasional.
- Solissa, R., Siahaya, L., & Haponno, H.S. (2023). Studi Habitat Meranti Merah (*Rubroshorea selanica* B.L.) di Desa Oki Lama Kecamatan Namrole Kabupaten Buru Selatan. *Makila*, 17(1), 68–82.
<https://doi.org/10.30598/makila.v17i1.8946>
- Sribianti, I., Sultan, Muthaminah, Daud, M., Nirwana, Abdullah, A.A., & Sardiawan, A. (2022). Estimasi Biomassa, Cadangan Karbon, Produksi O₂ Dan Nilai Jasa Lingkungan Serapan CO₂ Tegakan Hutan di Taman Hutan Raya Abdul Latief. *Jurnal Hutan Dan*

Masyarakat, 14(1), 12–26.
<https://doi.org/10.24259/jhm.v14i1.18022>

Suryani, A.A.W., Tito, S.I., & Prasetyo, H.D. (2024). Penghitungan Berat Nekromassa Dan Cadangan Karbon di Coban Putri dan Hutan Kota Malabar Malang. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Sains Unisma Malang*, 2(2), 51–60.
<https://doi.org/10.33474/jimsum.v2i2.23749>

Tambaru, E., Bachtiar, B., Ura, R., & Tuwo, M. (2023). The Effects Morpho-Anatomical Characters Leaves *Tectona*

grandis and *Gmelina arborea* as carbon dioxide absorption in Unhas Urban Forest. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 13(4), 1290–1296.

Widyastuti, E., Istomo, & Rachmat, H.H. (2024). Hubungan Kerapatan Tajuk Menggunakan NDVI Dengan Keanekaragaman Jenis Invasif Tumbuhan Bawah di Hutan Penelitian Gunung Dahu (HPGD). *Jurnal Silvikultur Tropika*, 15(2), 153–161.