



Pertumbuhan dan Cadangan Karbon Tegakan *Rubroshorea leprosula* Miq. di Hutan Penelitian Gunung Dahu, Bogor

Growth and Carbon Stock of Rubroshorea leprosula Miq. Stands in the Gunung Dahu Research Forest, Bogor

Cheryn Kania^{1*}, Prijanto Pamoengkas², Wahyu Catur Adinugroho³

^{1,2}Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, Institute Pertanian Bogor, Jl. Lingkar Akademik Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

³Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jl.Raya Jakarta-Bogor No.32, Kec. Cibinong, Kab. Bogor

* Corresponding Author: cherynkania@gmail.com

Article History

Received : April 20, 2026

Revised : June 4, 2026

Approved : June 16, 2026

Keywords:

Carbon storage, growth, plantation forest, planting distance, *Rubroshorea leprosula* Miq.

© 2026 Authors

Published by the Department of Forestry, Faculty of Agriculture, Forestry, and Fisheries, Palangka Raya University. This article is openly accessible under the license:



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Sejarah Artikel

Diterima : 20 April 2026

Direvisi : 4 Juni 2026

Disetujui : 16 Juni 2026

Kata Kunci:

Hutan tanaman, jarak tanam, pertumbuhan, *Rubroshorea leprosula* Miq., stok karbon

© 2026 Penulis

Diterbitkan oleh Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Kehutanan dan Perikanan Universitas Palangka Raya. Artikel ini dapat diakses secara terbuka di bawah lisensi:



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

ABSTRACT

Plantation forests contribute to climate change mitigation through biomass carbon storage, which is influenced by planting spacing. This study analyzed the effect of spacing on the growth and carbon stock of *R. leprosula* Miq. stands planted in 1997 and 1998, with spacings of 2m × 2 m, 3m × 3 m, and 4m × 4 m in the Gunung Dahu Research Forest, Bogor. Parameters observed included diameter, height, basal area, stand density, canopy density, and carbon stock, analyzed using ANOVA (95%). Results showed that spacing significantly affected ($p < 0,05$) diameter, height, stand density, and canopy density. The highest diameter (47,60 cm) and height (22,24 m) were found at 4m × 4 m spacing, while the lowest diameter (20,91 cm) and height (16,05 m) occurred at 2m × 2 m. Stand density was highest at 2m × 2 m (761,67 ind/ha) and lowest at 4m × 4 m (166,67 trees/ha). The highest canopy density was observed at 4m × 4 m spacing. Carbon stock did not differ significantly among spacings, ranging from 126,44 to 158,17 tonC/ha, indicating a trade-off between tree size and tree density.

ABSTRAK

Hutan tanaman berperan dalam mitigasi perubahan iklim melalui penyimpanan karbon biomassa yang dipengaruhi oleh jarak tanam. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh jarak tanam terhadap pertumbuhan dan stok karbon tegakan *R. leprosula* Miq. dengan tahun tanam 1997 dan 1998 dan jarak tanam 2m × 2m, 3m × 3m, dan 4m × 4m di Hutan Penelitian Gunung Dahu, Bogor. Parameter yang diamati meliputi diameter, tinggi, luas bidang dasar, kerapatan tegakan, kerapatan tajuk, dan cadangan karbon, dianalisis menggunakan sidik ragam (95%). Hasil menunjukkan jarak tanam berpengaruh signifikan ($p < 0,05$) terhadap diameter, tinggi, kerapatan tegakan, dan kerapatan tajuk. Diameter tertinggi pada 4m × 4m tahun 1997 sebesar 47,60 cm dan terendah pada 2m × 2m sebesar 20,91 cm. Tinggi tertinggi pada 4m × 4m tahun 1998 sebesar 22,24m dan terendah 16,05 m. Kerapatan individu tertinggi pada 2m × 2m tahun 1997 sebesar 761,67 ind/ha dan terendah pada 4m × 4m sebesar 166,67 ind/ha. Nilai kerapatan tajuk terbesar terdapat pada jarak tanam 4m × 4m. Sedangkan parameter cadangan karbon menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata terhadap ketiga jarak tanam, nilainya berkisar antara 126,44-158,17ton C/ha, hal ini menunjukkan kompensasi antara ukuran pohon dan jumlah pohon per satuan luas.

1. Pendahuluan

Hutan hujan tropis memiliki peran penting dalam mitigasi perubahan iklim melalui kemampuannya dalam menyerap dan menyimpan karbon. Indonesia sebagai salah satu negara dengan luas hutan tropis terbesar di dunia memiliki keanekaragaman hayati yang

tinggi (Maulana et al. 2019). Namun, keberadaan hutan terus mengalami tekanan akibat deforestasi yang pada tahun 2024 mencapai 175,4 ribu hektar (KLHK 2025). Kondisi ini dipicu oleh alih fungsi lahan untuk pembangunan, permukiman, dan industri, serta diperparah oleh kebakaran hutan dan praktik

penebangan liar yang meningkatkan emisi gas rumah kaca (Ramadhan 2025). Hutan berperan sebagai penyerap karbon yang efektif dalam mendukung pengendalian perubahan iklim. Sektor kehutanan diharapkan menjadi salah satu pilar utama dalam mencapai target zero net sink pada tahun 2030 (KLHK 2022). Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah melalui kegiatan rehabilitasi dan reforestasi, yang terbukti mampu meningkatkan cadangan karbon serta memperbaiki kondisi ekosistem hutan (Basuki et al. 2022).

Hutan Penelitian Gunung Dahu (HPGD) merupakan contoh keberhasilan rehabilitasi hutan yang mengubah lahan terdegradasi menjadi kawasan berhutan melalui penanaman berbagai jenis dipterokarpa. Salah satu jenis yang dikembangkan di HPGD adalah *Rubroshorea leprosula* Miq., yang dikenal memiliki pertumbuhan relatif cepat dan kemampuan adaptasi yang baik pada kondisi hutan terdegradasi (Sholihin et al. 2020). Selain itu, spesies ini juga memiliki potensi tinggi dalam meningkatkan simpanan karbon dibandingkan jenis lainnya (Widyatno et al. 2011). Dalam pengelolaan hutan tanaman, jarak tanam menjadi faktor penting yang memengaruhi pertumbuhan tegakan dan cadangan karbon, karena berkaitan dengan tingkat kompetisi dan pemanfaatan sumber daya (Ardityana et al. 2024). Proses pertumbuhan tersebut terjadi melalui fotosintesis yang menghasilkan biomassa dan berkontribusi terhadap akumulasi karbon dalam vegetasi (Sardi et al. 2022). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh jarak tanam terhadap pertumbuhan, riap, dan cadangan karbon tegakan *Rubroshorea leprosula* Miq. pada umur 27 dan 28 tahun.

2. Bahan dan Metode

2.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober–Desember 2025 di Hutan Penelitian Gunung Dahu, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat (06°36'30"–6°37'00" LS dan 106°34'00"–106°35'30" BT).

2.2. Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah pita ukur, phiband, tali rafia, koran, timbangan digital, penggaris, clinometer, Haga hypsometer, hemiview, kompas, tally sheet, oven, smartphone, laptop yang dilengkapi dengan software QGIS, IBM SPSS, dan Avenza map. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah tegakan *Rubroshorea leprosula* Miq., serasah, tumbuhan bawah, semai, plastic clip dan trash bag.

2.3. Prosedur Penelitian

Pengambilan data lapang dilakukan menggunakan plot 20m × 20m dengan sub-plot berbeda untuk tiap tingkat vegetasi, yaitu 20m × 20 m (pohon), 10m × 10m (tiang), 5m × 5m (pancang), dan 2m × 2m (semai, tumbuhan bawah, serasah, dan kayu mati kecil) (SNI 7724:2019). Data yang dikumpulkan meliputi diameter, tinggi, dan tutupan tajuk, yang selanjutnya dianalisis untuk menghitung biomassa, simpanan karbon, dan pertumbuhan *R. leprosula* Miq. di Hutan Penelitian Gunung Dahu, Bogor.

2.4. Analisis Data

2.4.1 Perhitungan Rata-Rata Tinggi dan Diameter Pohon

Pengukuran tinggi dan diameter *R. leprosula* Miq. pada tingkat tiang dan pohon dilakukan pada seluruh plot pengamatan. Rata-rata tinggi dan diameter dihitung dengan membagi total tinggi atau diameter seluruh pohon dengan jumlah pohon yang diamati.

2.4.2 Menghitung Luas Bidang dasar (LBDs) dan Kerapatan Tegakan

Luas bidang dasar merupakan luas penampang batang pada tinggi 1,3 m dari permukaan tanah, yang dihitung menggunakan rumus lingkaran, yaitu $LBDs = (\pi \times diameter^2)/4$. Kerapatan tegakan merupakan jumlah individu per satuan luas, yang dihitung dengan membagi jumlah individu dengan luas plot, dan dinyatakan dalam individu per hektar.

2.4.3 Riap Rata-Rata Tahunan (MAI) Diameter dan Tinggi Pohon

Riap merupakan pertambahan dimensi pohon per satuan waktu, seperti diameter atau tinggi, yang dinyatakan sebagai riap rata-rata

tahunan (*Mean Annual Increment/MAI*) (Makai et al. 2020). Nilainya dihitung dengan membagi diameter atau tinggi pada saat pengukuran dengan umur tanaman, sehingga diperoleh riap diameter (cm/tahun) dan riap tinggi (m/tahun).

2.4.4 Perhitungan Biomassa Semai, Tumbuhan Bawah, Serasah dan Kayu Mati Kecil

Perhitungan biomassa semai, tumbuhan bawah, serasah dan kayu mati kecil dilakukan menggunakan rumus untuk mengetahui berat kering total (BKT) menurut (SNI 7724:2019) adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Daftar persamaan alometrik jenis pada plot penanaman *R. leprosula*

| Spesies | Persamaan alometrik | Sumber |
|-------------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| <i>R. leprosula</i> Miq | $Y = 0,277 \times (D^2 \rho)^{1,238}$ | Heriansyah et al. (2009) |
| <i>Pinuss merkusii</i> | $Y = 0,0936 \times D^{2,4323}$ | Krisnawati et al. (2012) |

Keterangan: Y= Biomassa, D= diameter, ρ = kerapatan

Biomassa vegetasi dengan diameter kurang dari 5 cm (pancang kecil), akan dihitung biomasanya menggunakan persamaan alometrik khusus dari data diameter (cm) dan tinggi (m) (Adinugroho et al. 2023):

$$\text{Above ground biomass} = 0,13868 \times (D^2 H)^{0,67265}$$

2.4.6 Biomassa Nekromassa Pohon Mati dan Kayu Mati

a. Pengukuran biomassa pohon mati

Pengukuran biomassa pohon mati berdiri dilakukan dengan mengukur DBH dan menentukan tingkat keutuhan, kemudian dikoreksi untuk memperoleh nilai nekromassa berdasarkan SNI 7724:2019,

$$V_{\text{kayu mati}} = 0,25\pi \left(\frac{d_{\text{pangkal}} + d_{\text{ujung}}}{2 \times 100} \right)^2 \times \text{panjang kayu mati}$$

2.4.7 Perhitungan Karbon dan Riap Stok Karbon

Analisis potensi karbon dilakukan menggunakan rumus SNI:2019 dengan mengkonversi 0,47 dari biomassa maupun nekromassanya. Rumus yang digunakan sebagai berikut:

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

Keterangan:

C = kandungan karbon dari biomassa hidup (kg)

B = total biomassa (kg)

$$\text{Berat kering total} = \frac{\text{Berat kering contoh}}{\text{Berat basah contoh}} \times \text{Berat basah total}$$

2.4.5 Perhitungan Biomassa Akar dan Tegakan

Pengukuran biomassa akar dihitung menggunakan pendekatan rumus nisbah pucuk akar yang dikalikan dengan total biomassa diatas permukaan. Menurut IPCC (2019), nilai nisbah pucuk akar hutan hujan tropis dengan jenis hutan homogen atau hutan tanaman sebesar 0,325. Biomassa atas permukaan tegakan *R. leprosula* Miq. diestimasi menggunakan persamaan alometrik yang disajikan pada **Tabel 1.**

yaitu dengan mengalikan biomassa dengan faktor koreksi. Nilai faktor koreksi ditentukan berdasarkan tingkat keutuhan pohon mati, yaitu 0,9 (tanpa daun), 0,8 (tanpa daun dan ranting), dan 0,7 (tanpa daun, ranting, dan cabang) (Hidayat et al. 2019).

b. Pengukuran nekromassa kayu mati

Nekromassa kayu mati berdiri dapat dihitung menggunakan rumus Brereton yang dikalikan dengan berat jenis kayu tersebut. Persamaan yang digunakan untuk menghitung nekromassa kayu mati sebagai berikut (SNI 7724:2019):

$$C\text{-organik} = \text{persentase karbon bahan organik (47\%)}$$

Riap rata-rata karbon tahunan (*Mean Annual Carbon Increment/MACI*) dihitung dengan membagi stok karbon (ton C/ha) dengan umur tegakan (tahun) (Marsono 1987 dalam Massolo et al. 2024).

2.4.8 Uji Normalitas dan Uji Analisis Statistik ANOVA

Uji normalitas dilakukan dengan Kolmogorov-Smirnov dan Shapiro-Wilk ($\alpha = 0,05$), di mana data normal jika $p > 0,05$ dan tidak normal jika $p < 0,05$, menggunakan IBM

SPSS. Uji homogenitas varians dilakukan dengan *Levene's Test*, data dinyatakan homogen jika $p > 0,05$. Jika asumsi terpenuhi, analisis dilanjutkan dengan ANOVA untuk menguji pengaruh perlakuan, kemudian uji Tukey pada taraf 5% jika terdapat perbedaan nyata.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Parameter Biofisik dan Lingkungan

Tabel 2. Kondisi iklim mikro dan rata-rata Lbds

| Tahun Tanam | Blok | Jarak Tanam | Rata-rata Lbds (m ² /ha) | Suhu Udara °C | Suhu Tanah °C | pH Tanah |
|-------------|------|-------------|-------------------------------------|---------------|---------------|----------|
| 1997 | 1 | 2m x 2m | 28,77 | 27,33 | 17,4 | 7 |
| | 2 | 3m x 3m | 35,56 | 27,97 | 24,2 | 6 |
| | 3 | 4m x 4m | 31,74 | 27,93 | 24,53 | 5,9 |
| | 21 | 2m x 2m | 25,18 | 27,03 | 23,53 | 6,7 |
| 1998 | 22 | 3m x 3m | 26,94 | 27,43 | 22,4 | 6,6 |
| | 23 | 4m x 4m | 26,10 | 28,87 | 29,93 | 5,76 |

Luas bidang dasar (lbds) berkaitan dengan pertumbuhan diameter pohon (Azwin *et al.* 2023). Nilai terbesar terdapat pada jarak tanam 3m x 3m, yaitu 35,56 m²/ha (1997) dan 26,94 m²/ha (1998), karena semakin besar diameter pohon maka semakin besar pula Lbds

Tabel 3. Ketinggian dan kelerengan plot *Rubroshorea leprosula* Miq.

| Tahun Tanam | Blok | Jarak Tanam | Ketinggian (mdpl) | Kelerengan (%) |
|-------------|------|-------------|-------------------|---------------------------|
| 1997 | 1 | 2m x 2m | 684,67 | Landai – Agak Curam |
| | 2 | 3m x 3m | 669,67 | Agak Curam |
| | 3 | 4m x 4m | 666,00 | Curam – Sangat Curam |
| 1998 | 21 | 2m x 2m | 719,67 | Sangat Curam |
| | 22 | 3m x 3m | 718,33 | Agak Curam – Sangat Curam |
| | 23 | 4m x 4m | 704,33 | Curam – Sangat Curam |

R. leprosula Miq. tumbuh optimal pada ketinggian 300–750 mdpl di hutan dipterokarpa perbukitan (Attarik *et al.* 2021). Hal ini sesuai dengan kondisi di HPGD (666,00–719,67 mdpl). Kelerengan juga memengaruhi pertumbuhan secara tidak langsung melalui erosi tanah (Alvin *et al.* 2025). Terdapat perbedaan kelerenga pada tahun tanam 1997 dan 1998. Lahan yang lebih datar cenderung memiliki

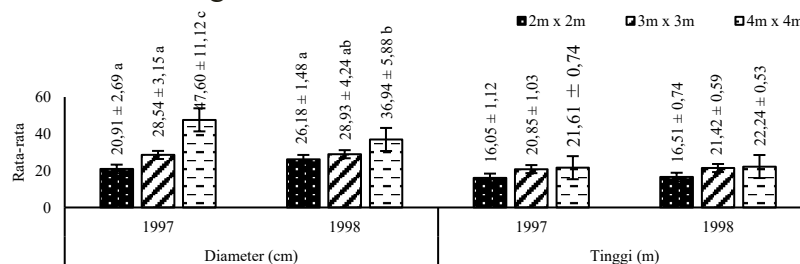
Hutan Penelitian Gunung Dahu memiliki kondisi biofisik yang memengaruhi pertumbuhan *R. leprosula* Miq., jenis Dipterocarpaceae yang dominan di hutan hujan tropis Indonesia (Muin 2021). Jenis ini semitoleran terhadap naungan dan membutuhkan cahaya lebih tinggi pada fase lanjut (Pamoengkas dan Erizilina 2019). Perbedaan jarak tanam memengaruhi volume dan lbds akibat kompetisi antar pohon (**Tabel 2**).

(Pratama *et al.* 2016). Perbedaan jarak tanam juga memengaruhi iklim mikro dan pH tanah, namun kondisi tanah masam masih sesuai bagi *R. leprosula* Miq. (Tampubolon *et al.* 2022). Suhu udara cenderung lebih rendah pada jarak tanam rapat, begitu juga sebaliknya.

ketersediaan air dan hara lebih stabil sehingga mendukung pertumbuhan optimal (Autovino *et al.* 2018).

3.2. Pertumbuhan Tegakan *R. leprosula* Miq. pada Berbagai Variasi Jarak Tanam

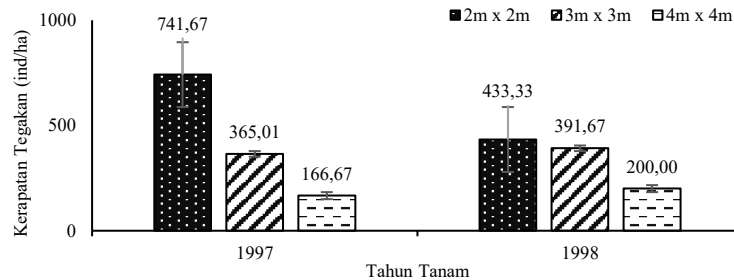
Hasil pengukuran *R. leprosula* Miq. berdasarkan jarak tanam dan umur disajikan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Rata-rata pertumbuhan diameter dan tinggi *R. leprosula* Miq

Pada tahun tanam 1998, diameter terbesar terdapat pada jarak tanam $4\text{m} \times 4\text{m}$ (36,94 cm), sedangkan pada tahun tanam 1997 diameter tertinggi pada $4\text{m} \times 4\text{m}$ (47,60 cm). Tinggi pohon juga cenderung lebih besar pada jarak tanam yang lebih lebar. Perbedaan ini menunjukkan bahwa jarak tanam dan umur

memengaruhi pertumbuhan diameter dan tinggi *R. leprosula* Miq. Jarak tanam rapat meningkatkan kompetisi cahaya, air, dan hara (Ardityana *et al.* 2024), sedangkan jarak tanam lebar menghasilkan diameter lebih besar tetapi kerapatan pohon lebih rendah (**Gambar 3**).



Gambar 3. Kerapatan tegakan *R. leprosula*

Jarak tanam $4\text{m} \times 4\text{m}$ memiliki kerapatan pohon terendah, sedangkan $2\text{m} \times 2\text{m}$ tertinggi. Jarak tanam rapat meningkatkan jumlah

individu tetapi juga memperbesar persaingan hara. Selain itu, jarak tanam juga dapat memengaruhi kerapatan tajuk (**Tabel 4**).

Tabel 4. Kerapatan tajuk pada berbagai jarak tanam

| | | Jarak Tanam | | |
|--|--|-------------|---------|---------|
| | | 2m x 2m | 3m x 3m | 4m x 4m |
| | | | | |

Tegakan tahun 1997 dan 1998 umumnya memiliki kategori tajuk rapat, terutama pada jarak tanam $3\text{m} \times 3\text{m}$ sesuai KLHK No. P.12/Menhut-II/2012. Kerapatan tajuk mencerminkan penutupan kanopi dan dipengaruhi struktur tegakan (Sumadi dan Siahaan 2011). Jarak tanam rapat meningkatkan penutupan kanopi dan jumlah

pohon, tetapi juga memperbesar kompetisi cahaya, air, dan unsur hara. Sebaliknya, jarak tanam lebar memberi ruang tumbuh lebih luas sehingga tajuk berkembang lebih optimal, meski penutupan lahannya lebih rendah. **Tabel 5** menunjukkan bahwa variasi jarak tanam diduga memengaruhi pertumbuhan dan struktur tegakan, yang selanjutnya diuji secara statistik.

Tabel 5. Rekapitulasi sidik ragam pengaruh jarak tanam terhadap parameter diameter, tinggi, kerapatan tegakan dan kerapatan tajuk *Rubroshorea leprosula* Miq.

| Faktor | Diameter (Sig.) | Tinggi (Sig.) | Kerapatan Tegakan (Sig.) | Kerapatan Tajuk (sig.) |
|-------------|-----------------|---------------|--------------------------|------------------------|
| Jarak Tanam | 0,000* | 0,000* | 0,000* | 0,000* |

Keterangan: * = perlakuan berpengaruh signifikan pada selang kepercayaan 95%; ns = perlakuan tidak berpengaruh signifikan pada selang kepercayaan 95%

Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa jarak tanam berpengaruh signifikan terhadap diameter, tinggi, kerapatan pohon, dan kerapatan tajuk ($p < 0,05$). Jarak tanam yang lebih lebar cenderung meningkatkan pertumbuhan karena mengurangi kompetisi antar tanaman (Rasyid dan Rokhim 2025), namun menghasilkan jumlah pohon yang lebih sedikit. Sebaliknya, jarak tanam rapat

meningkatkan kerapatan tajuk sehingga penutupan lahan menjadi lebih tinggi (Arumtanzia *et al.* 2024). Oleh karena itu, dilakukan uji lanjut Tukey untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan **Tabel 6**.

Hasil uji lanjut menunjukkan bahwa jarak tanam berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan *R. leprosula* Miq. Jarak tanam yang lebih lebar mengurangi kompetisi

sehingga mendukung pertumbuhan diameter dan tinggi (Rasyid dan Rokhim 2025). Sebaliknya, jarak tanam rapat meningkatkan persaingan cahaya, air, dan unsur hara yang menyebabkan diameter lebih kecil dan pertumbuhan cenderung vertikal (Priyono 2016), serta meningkatkan kompetisi antar

individu dalam memperoleh cahaya (Ardityana *et al.* 2024). Di sisi lain, jarak rapat menghasilkan penutupan tajuk lebih tinggi, sedangkan jarak lebar meningkatkan penetrasi cahaya yang mendukung proses fotosintesis (Mawazin dan Suhaendi 2008).

Tabel 6. Hasil uji lanjut Tukey pengaruh berbagai jarak terhadap diameter, tinggi dan kerapatan *Rubroshorea leprosula* Miq.

| Sumber | Perlakuan | Diameter (cm) | Tinggi (m) | Kerapatan Tegakan (ind/ha) | Kerapatan Tajuk (%) |
|-------------|-----------|--------------------|--------------------|----------------------------|---------------------|
| Jarak tanam | 2m × 2m | 23,55 ^a | 16,28 ^a | 23,50 ^c | 81,88 ^a |
| | 3m × 3m | 28,73 ^b | 21,14 ^b | 17,33 ^b | 83,60 ^a |
| | 4m × 4m | 42,27 ^c | 21,93 ^b | 7,33 ^a | 69,75 ^b |

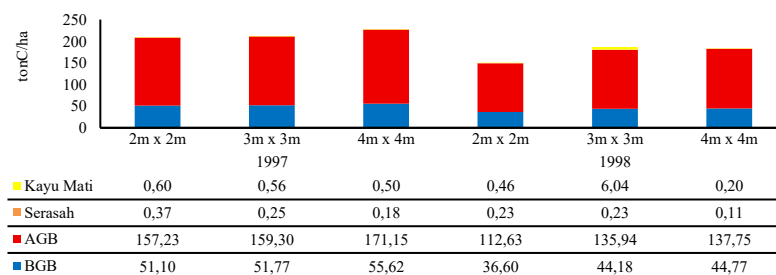
Keterangan: Angka-angka yang diikuti huruf yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata berdasarkan uji Tukey pada taraf kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$).

Pengaturan jarak tanam penting untuk menyeimbangkan pertumbuhan dan kerapatan tegakan sehingga produktivitas hutan optimal (Kosasih dan Mindawati 2011). Riap digunakan sebagai indikator pertambahan nilai tegakan serta peningkatan diameter dan tinggi pohon per tahun (Makai *et al.* 2020). Hasil penelitian menunjukkan MAI diameter dan tinggi *R. leprosula* Miq. tertinggi terdapat pada jarak tanam 4m × 4m. Jarak tanam yang lebih lebar memberikan ruang tumbuh lebih optimal sehingga meningkatkan laju pertumbuhan. Perbedaan nilai MAI antar tahun diduga dipengaruhi oleh faktor internal dan eksternal, seperti kompetisi dan gangguan lingkungan.

Secara lapangan, ditemukan adanya kekosongan individu (*gap*) yang menunjukkan kematian pohon akibat persaingan. Selain itu, pertumbuhan pohon cenderung menurun seiring bertambahnya umur (Suhartati dan Pebriansyah 2021), sementara pertumbuhan diameter masih tinggi karena pohon berada pada fase aktif, yang umumnya mencapai puncak pada kelas diameter 30–40 cm (Wahyudi 2011).

3.3. Alokasi dan Distribusi Pool

Akumulasi karbon berasal dari AGB dan BGB, dengan simpanan terbesar pada AGB, diikuti BGB, kayu mati, dan serasah (**Gambar 4**).



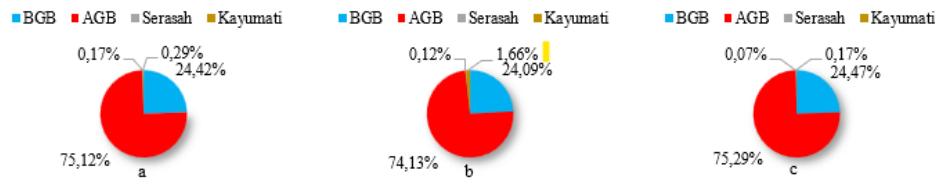
Gambar 4. Alokasi simpanan karbon plot *Rubroshorea leprosula* Miq. pada tahun tanam 1997 dan 1998

Nilai simpanan karbon di atas permukaan yang lebih tinggi ini disebabkan karena adanya tegakan *R. leprosula* Miq. yang mendominasi. Hal ini menyebabkan semakin besar pertumbuhan batang, daun, dan cabang, maka karbon yang tersimpan di dalamnya lebih besar dibandingkan dengan karbon dibawah permukaan (akar), serasah, dan kayu mati. Nilai BGB yang lebih rendah dibandingkan AGB ini dikarenakan akumulasi karbonnya hanya

diperoleh dari akar. Nilai biomassa akar dihitung berdasarkan *Aboveground Biomass* (AGB) menggunakan rumus nisbah pucuk akar (perbandingan biomassa pucuk dan akar). Menurut IPCC (2019), tipe hutan hujan tropis memiliki nilai nisbah sebesar 0,325. Sementara itu, biomassa kayu mati lebih tinggi daripada serasah karena perhitungannya turut melibatkan variabel diameter.

Kemampuan lahan dalam menyimpan karbon dapat dihitung melalui nilai pool karbon yang ada didalamnya. Kombinasi tahun tanam 1997 dan 1998 di HPGD, menyimpan karbon terbesar terdapat pada *pool carbon* diatas

permukaan tanah, yang dimana hutan ini merupakan hutan tanaman yang menyimpan 74-75 % karbon berasal dari tegakan pohon (**Gambar 5**).



Gambar 5. Distribusi simpanan karbon dengan berdasarkan jarak tanam 2m x 2m (a), 3m x 3m (b), 4m x 4m (c)

Biomassa tegakan mencerminkan karbon yang terserap dan disimpan sehingga berperan penting dalam mitigasi perubahan iklim (Maruapey *et al.* 2024). Simpanan karbon terbesar kedua terdapat pada biomassa bawah permukaan (akar) sebesar 24,09–24,47%, namun nilainya lebih kecil dibanding biomassa atas permukaan karena alokasi hasil fotosintesis lebih banyak menuju batang, cabang, dan daun (Gautam *et al.* 2025). Sementara itu, *pool carbon* terkecil terdapat pada nekromassa seperti serasah dan kayu mati akibat proses dekomposisi yang terus berlangsung (Suryani *et al.* 2024), serta dipengaruhi aktivitas fauna tanah (Elvina 2018).

3.4. Mean Annual Carbon Increment (MACI) Plot *Rubroshorea*

AGB tegakan *Rubroshorea* sebagai *pool* karbon terbesar dianalisis menggunakan MAI untuk menggambarkan dinamika akumulasi tahunan. Laju rata-rata karbon tertinggi ditemukan pada jarak tanam 4m x 4m, yaitu

5,65 tonC/ha/tahun (1997) dan 4,68 tonC/ha/tahun (1998), yang mencerminkan efektivitas tegakan dalam menyerap CO₂ menjadi biomassa. Jenis lain turut berkontribusi kecil di blok 3 (0,44 tonC/ha/tahun), blok 21 (0,28 tonC/ha/tahun), blok 22 (0,68 tonC/ha/tahun), dan blok 23 (0,18 tonC/ha/tahun). Secara akumulatif, total laju karbon tetap lebih besar pada jarak tanam lebar karena dipengaruhi oleh jenis, umur, jarak tanam, dan diameter pohon; jarak yang lebih lebar mengoptimalkan pertumbuhan diameter sehingga meningkatkan kapasitas simpanan karbon.

3.5. Karbon Vegetasi Hidup

Umumnya pada hutan tanaman, karbon terbesar terdapat pada tingkat pertumbuhan pohon, diikuti dengan *belowground*, tiang, pancang dan tumbuhan bawah. Potensi simpanan karbon pada berbeagai tingkatan ini dapat dilihat pada **Tabel 9**.

Tabel 9. Potensi komponen simpanan karbon dan standar error pada tegakan *R. leprosula* Miq.

| Perlakuan | Potensi Karbon (tonC/ha) | | | | |
|-----------|--------------------------|---------------|-------------|-------------|---------------|
| | Above Ground | | | | Below Ground |
| | Pohon | Tiang | Pancang | T. Bawah | |
| A1 | 83,29 ± 18,25 | 66,73 ± 19,78 | 6,18 ± 6,15 | 0,06 ± 0,03 | 51,10 ± 1,71 |
| A2 | 144,06 ± 34,57 | 13,08 ± 4,71 | 1,22 ± 1,22 | 0,13 ± 0,03 | 51,77 ± 10,89 |
| A3 | 165,52 ± 15,14 | 4,90 ± 2,56 | 0,00 ± 0,00 | 0,04 ± 0,02 | 55,62 ± 4,12 |
| B1 | 97,61 ± 10,01 | 13,87 ± 1,46 | 0,00 ± 0,00 | 0,46 ± 0,25 | 36,60 ± 3,58 |
| B2 | 125,00 ± 24,36 | 4,36 ± 3,29 | 0,00 ± 0,00 | 0,31 ± 0,08 | 44,18 ± 7,52 |
| B3 | 125,24 ± 21,36 | 10,64 ± 5,49 | 1,09 ± 1,09 | 0,46 ± 0,20 | 44,77 ± 8,85 |

Keterangan: Kode meliputi tahun tanam 1997 (A) dan 1998 (B) dengan jarak tanam 2m x 2m (1), 3m x 3m (2), dan 4m x 4m (3)

Simpanan karbon pohon tahun tanam 1997 lebih tinggi dengan variasi antar-plot rendah (SE kecil). Pada tingkat tiang, karbon terbesar ada pada jarak 2m x 2m karena kompetisi cahaya memacu pertumbuhan tinggi tetapi menekan diameter (Ardityana *et al.* 2024). Sebaliknya, kontribusi pancang dan

tumbuhan bawah minim akibat tajuk rapat yang membatasi cahaya (Rahawarin *et al.* 2025). Sementara itu, karbon akar tertinggi berada pada jarak 4m x 4m di kedua tahun tanam karena jarak lebar mengurangi kompetisi serta meningkatkan diameter dan biomassa atas permukaan. Hal ini menegaskan bahwa

biomassa akar dipengaruhi oleh diameter batang (Kasenda *et al.* 2024) dan berfungsi sebagai penopang utama tegakan (Wang *et al.* 2023).

3.6. Bahan Organik Mati

Bahan organik mati merupakan komponen penting dalam simpanan karbon yang berasal dari nekromassa, yaitu material organik yang telah mati dan terakumulasi di atas permukaan tanah. Nilai nekromassa disajikan pada **Tabel 10**.

Tabel 10. Karbon nekromassa plot *Rubroshorea leprosula* Miq.

| Perlakuan | Nekromassa (tonC/ha) | | | |
|-----------|----------------------|--------------|---|-------------|
| | Serasah | Ranting Mati | Kayu Mati | Pohon Mati |
| A1 | 0,37 ± 0,09 | 0,60 ± 0,06 | 5,4 x 10 ⁻⁵ ± 5,2 x 10 ⁻⁵ | 0,00 ± 0,00 |
| A2 | 0,25 ± 0,04 | 0,56 ± 0,03 | 4,5 x 10 ⁻⁵ ± 2 x 10 ⁻⁵ | 0,00 ± 0,00 |
| A3 | 0,18 ± 0,06 | 0,50 ± 0,03 | 3,2 x 10 ⁻⁵ ± 3,2 x 10 ⁻⁵ | 0,00 ± 0,00 |
| B1 | 0,23 ± 0,05 | 0,46 ± 0,01 | 3 x 10 ⁻⁵ ± 1 x 10 ⁻⁵ | 0,00 ± 0,00 |
| B2 | 0,23 ± 0,02 | 0,42 ± 0,11 | 9 x 10 ⁻⁵ ± 9 x 10 ⁻⁵ | 5,62 ± 3,31 |
| B3 | 0,11 ± 0,02 | 0,20 ± 0,04 | 4 x 10 ⁻⁵ ± 4 x 10 ⁻⁵ | 0,00 ± 0,00 |

Keterangan: Kode meliputi tahun tanam 1997 (A) dan 1998 (B) dengan jarak tanam 2m x 2m (1), 3m x 3m (2), dan 4m x 4m (3)

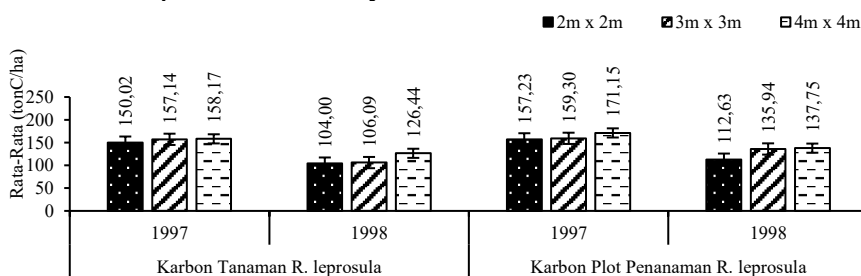
Serasah adalah bahan organik permukaan tanah sumber hara mikroorganisme. Karbon serasah tertinggi ditemukan pada jarak tanam 2m x 2m di kedua tahun tanam karena kanopi rapat meningkatkan guguran daun (Donsi *et al.* 2025). Selain itu, akumulasi serasah dipengaruhi topografi, di mana lereng datar menahan lebih banyak serasah dibandingkan lereng curam (Drupadi *et al.* 2021).

Nekromassa kayu mati (pohon berdiri, rebah, dan ranting) berbiomassa lebih besar dari serasah karena kerapatan dan bobot jenisnya yang tinggi (Araujo 2023). Nilai nekromassa kayu dan ranting tertinggi berada pada tahun tanam 1997 dengan jarak tanam 2m x 2m. Sementara itu, nekromassa pohon mati hanya

ditemukan di blok 22 sebesar 5,62 ± 3,31 tonC/ha dari jenis *P. merkusii*. Kematian pohon ini diduga akibat hama dan penyakit yang menyebar cepat di hutan tanaman karena adaptasi tinggi terhadap inang (Ramadhanti *et al.* 2023).

3.7. Keragaman Simpanan Karbon Bagian Atas Tegakan pada Plot Penanaman *Rubroshorea*

Simpanan karbon hutan dihitung dari karbon tegakan hidup dan mati, tumbuhan bawah, serta serasah (Yuningsih *et al.* 2018). Vegetasi juga menyerap CO₂ melalui konversi simpanan karbon nilai pada *R. leprosula* Miq. disajikan pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Rata-rata simpanan karbon

Simpanan karbon total pada plot *R. leprosula* Miq. merupakan akumulasi dari tegakan utama, non-*Rubroshorea*, tumbuhan bawah, serasah, dan nekromassa. Pada tahun tanam 1997 an 1998, simpanan karbon tertinggi terdapat pada jarak tanam 4m x 4m. Hal ini menunjukkan bahwa jarak tanam yang lebih lebar memberikan ruang tumbuh lebih optimal sehingga diameter pohon meningkat dan kapasitas penyimpanan karbon menjadi lebih

besar. Sebaliknya, jarak tanam rapat meskipun memiliki jumlah individu lebih banyak, cenderung menghasilkan simpanan karbon lebih rendah akibat tingginya kompetisi antar pohon (Haryati *et al.* 2014). Kelerengan juga memengaruhi simpanan karbon; lereng curam meningkatkan risiko erosi dan menurunkan kesuburan tanah, sehingga menghambat pertumbuhan diameter dan tinggi pohon (Banjarnahor *et al.* 2018). Meskipun demikian,

simpanan karbon hutan tanaman *R. leprosula* Miq. di HPGD tercatat lebih tinggi dibandingkan di Tahura Banten (Ramadhanti *et al.* 2023) maupun hutan tanaman *A. mangium* di Kalimantan Selatan (Araujo 2023). Perbedaan ini dipengaruhi oleh faktor pengelolaan (termasuk jarak tanam) serta

kondisi ekosistem seperti kerapatan, keragaman, tanah, dan umur tegakan.

Nilai standar deviasi (SD) dan standar error (SE) menunjukkan bahwa variasi data pada jarak tanam 3m × 3m dan 4m × 4m cenderung lebih tinggi, yang mengindikasikan heterogenitas pertumbuhan tegakan pada perlakuan tersebut (**Tabel 11**).

Tabel 11. Rata-rata dan standar deviasi simpanan karbon

| Tahun Tanam | Jarak Tanam | Karbon (tonC/ha) | | | |
|-------------|-------------|----------------------------|-------|-----------------------------------|-------|
| | | Tanaman <i>Rubroshorea</i> | SE | Plot Penanaman <i>Rubroshorea</i> | SE |
| 1997 | 2m × 2m | 150,02 ± 15,19 | 8,77 | 157,23 ± 9,12 | 5,27 |
| | 3m × 3m | 157,14 ± 59,11 | 34,13 | 159,30 ± 58,05 | 33,51 |
| | 4m × 4m | 158,17 ± 25,36 | 14,64 | 171,15 ± 21,96 | 12,68 |
| 1998 | 2m × 2m | 104,00 ± 16,07 | 9,28 | 112,63 ± 19,06 | 11,00 |
| | 3m × 3m | 106,09 ± 38,10 | 22,00 | 135,94 ± 46,41 | 26,79 |
| | 4m × 4m | 126,44 ± 47,96 | 27,69 | 137,75 ± 47,18 | 27,24 |

Jarak tanam 3m × 3m dan 4m × 4m memiliki nilai SD dan SE yang lebih tinggi pada kedua tahun tanam, yang mengindikasikan variasi karbon antar individu lebih besar. Hal ini diduga akibat perbedaan kemampuan tanaman dalam memanfaatkan ruang tumbuh, cahaya, dan unsur hara. Sebaliknya, jarak 2m × 2m lebih homogen karena kompetisi tinggi. SD mencerminkan sebaran data SD tinggi menunjukkan variasi

besar, sedangkan SD rendah menunjukkan data lebih seragam (Febriani 2022). Nilai rata-rata yang lebih besar dari SD mengindikasikan penyimpangan kecil dan distribusi data yang relatif normal (Rosalia *et al.* 2022). Hal ini terlihat pada **Tabel 12**, di mana faktor jarak tanam tidak berpengaruh signifikan terhadap simpanan karbon ($p > 0,05$), meskipun secara deskriptif terdapat perbedaan nilai antar perlakuan.

Tabel 12. Rekapitulasi sidik ragam pengaruh jarak tanam terhadap parameter simpanan karbon *Rubroshorea leprosula* Miq.

| Faktor | Karbon Tanaman <i>Rubroshorea</i> (Sig.) | Karbon Plot Penanaman <i>Rubroshorea</i> (Sig.) |
|-----------------|--|---|
| Jarak Tanam (A) | 0,772 ^{ns} | 0,657 ^{ns} |

Keterangan: * = perlakuan berpengaruh signifikan pada selang kepercayaan 95%; ns = perlakuan tidak berpengaruh signifikan pada selang kepercayaan 95%

Perbedaan jarak tanam menciptakan kompensasi antara jumlah pohon dan ukuran individu jarak rapat menghasilkan lebih banyak pohon berdiameter kecil, sedangkan jarak lebar menghasilkan lebih sedikit pohon berdiameter besar sehingga biomassa dan simpanan karbon per satuan luas relatif seimbang. Perbedaan cadangan karbon juga menjadi tidak nyata akibat faktor pengelolaan, gangguan hutan (Agnita dan Saharjo 2011), serta penjarangan alami (*self-thinning*) akibat kompetisi (Zeide 2001). Di sisi lain, produktivitas dan akumulasi biomassa dari fotosintesis terus meningkatkan simpanan karbon. Oleh karena itu, sistem silvikultur seperti SILIN (pengembangan TPTJ) penting diterapkan untuk mengoptimalkan produktivitas dan simpanan

karbon melalui benih unggul serta pengelolaan intensif (Iskandar *et al.* 2023).

4. Kesimpulan dan Saran

Pertumbuhan *R. leprosula* Miq. di HPGD dipengaruhi oleh jarak tanam. Diameter terbesar didapat pada jarak tanam 4m × 4m sebesar 47,60 cm pada tahun tanam 1997 dan sebesar 36,94 cm pada tahun tanam 1998. Pertumbuhan tinggi terbesar juga didapat pada jarak tanam 4m × 4m yaitu sebesar 21,61 m pada tahun tanam 1997 dan sebesar 22,24 m pada tahun tanam 1998. Nilai simpanan karbon terbesar juga terdapat pada jarak tanam 4m × 4m sebesar 158,17 tonC/ha pada tahun tanam 1997 dan sebesar 126,44 tonC/ha pada tahun tanam 1998.

Daftar Pustaka

- Adinugroho WC, Krisnawati H, Imanuddin R, Siregar CA, Weston CJ, Volkova L. 2023. Developing biomass allometric equations for small trees in mixed-species forest of tropical rainforest ecozone. *Trees, Forests and People* 13:1–11. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2023.100425>
- Agnita TC, Saharjo BH. 2011. Pendugaan potensi kandungan karbon pada tegakan jati (*Tectona grandis* linn.f) di areal kph Cianjur Perum Perhutani Unit iii Jawa Barat dan Banten. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia* 16(3):185–190. <https://journal.ipb.ac.id/index.php/JIPI/article/view/6614>
- Alvin, Rawana, Woosono HB. 2025. Pengaruh kelerengan lahan terhadap pertumbuhan tanaman *Eucalyptus pelita* di PT Riau Andalan Pulp and Paper. *Agrofortech* 3(1):464–470. <https://jurnal.instiperjogja.ac.id/index.php/JOM/article/view/1726>
- Araujo ND. 2023. Pendugaan cadangan karbon pada hutan tanaman industry di Kabupaten Tanah Laut PT Inhutani III Kalimantan Selatan. *Jurnal Hutan Tropis* 11(2):224–233. <http://dx.doi.org/10.20527/jht.v11i2.16771>
- Ardityana K, Kusumaningsi KR, Hadi DS. 2024. Pengaruh jarak tanam terhadap pertumbuhan tanaman jabon putih (*Anthocephalus cadamba* Miq.) di Kabupaten Temanggung, Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Wana Tropika* 14(1):1–6. <https://doi.org/10.55180/jwt.v14i1.1250>
- Arumtanzia N, Rusdiana O, Mindawati N. 2024. Analisis kesuburan tanah pada berbagai kerapatan tajuk di Jasinga Silviculture Teaching Industry. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman* 21(2):72–86. <https://doi.org/10.59465/jpht.v21i2.366>
- Attarik N, Pamoengkas P, Rachmat HH. 2021. The effect of slope aspect on growth attributes of *Shorea leprosula* Miq. in a rehabilitated hilly landscape. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 914(1):1–9. 10.1088/1755-1315/914/1/012018.
- Autovino D, Rallo G, Provenzano G. 2018. Predicting soil and plant water status dynamic in olive orchards under different irrigation systems with Hydrus-2D: model performance and scenario analysis. *Agricultural Water Management* 203:225–235. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.03.015>
- Azwin, Hadinoto, Sukma DRA, Sadjati E. 2023. Potensi tegakan bulan baon (*Fagraea crenulata*) pada hutan rakyat di Desa Bantayan Kecamatan Batu Hampar Kabupaten Rokan Hilir. *Wahana Forestra: Jurnal Kehutanan* 18(2):29–40. <https://doi.org/10.31849/forestra.v18i2.14507>
- Banjarnahor N, Hindarto KS, Fahrurrozi. 2018. Hubungan kelerengan dengan kadar air tanah, pH tanah, dan penampilan jeruk geraga di Kabupaten Lebong. *JUPI* 20(1):13–18. DOI:[10.31186/jupi.20.1.13-18](https://doi.org/10.31186/jupi.20.1.13-18)
- Basuki I, Adinugroho WC, Utomo NA, Syaugi A, Tryanto DH, Krisnawati H, Patton SCC, Novita N. 2022. Reforestation opportunities in Indonesia: mitigating climate change and achieving sustainable development goals. *Forests* 13(3):1–15. <https://doi.org/10.3390/f13030447>
- Donsi KC, Baderan DWK, Hamidun MS, Ahmad J, Rosalia N. 2025. Analisis struktur vegetasi dan potensi serapan karbon tumbuhan di Kawasan Cagar Alam Tangale Kabupaten Gorontalo. *Hidroponik* 2(1):188–201. <https://doi.org/10.62951/hidroponik.v2i1.260>
- Drupadi TA, Ariyanto DP, Sudadi S. 2021. Pendugaan kadar biomassa dan karbon tersimpan pada berbagai kemiringan lahan dan tutupan lahan di KHDTK Gunung Bromo UNS. *Agrikultura* 32(2):112–119.

- DOI: <https://doi.org/10.24198/agrikultur.a.v32i2.32344>
- Elvina CY, Mulyanda MF, Lisa SM, Hidayat M, Mulyadi. 2018. Estimasi biomassa karbon serasah di kawasan hutan sekunder Pegunungan Deudap. Prosiding Seminar Nasional Biotik. <https://doi.org/10.22373/pbio.v6i1.4254>
- Febriani S. 2022. Analisis deskriptif standar deviasi. *Jurnal Pendidikan Tambusai* 6(1):910–913. <https://doi.org/10.31004/jptam.v6i1.8194>
- Gautam RK, Dhakal DP, Bhattarai P. 2025. Carbon secrets: quantifying biomass and carbon stock potential of sal (*Shorea robusta* Gaertn.) in a community forest of Makawanpur, Central Nepal. *Journal of Institute of Forestry* 22(1):10–18. <https://doi.org/10.3126/forestry.v22i1.84753>
- Haryati T, Mahyudin I, Fithria A, Haris A. 2014. Pendugaan potensi kebun karet rakyat sebagai cadangan karbon di Kecamatan Cempaka Kota Banjarbaru Propinsi Kalimantan Selatan. *EnviroScienteeae* 10(3):150–156. <http://dx.doi.org/10.20527/es.v10i3.1977>
- Kasenda V, Rumengan AP, Ompi M, Djamaludin R, Mamangkey GN, Tilaar S. 2024. Estimasi biomassa dan simpanan karbon pada akar mangrove di Desa Ratatotok Muara Kecamatan Ratatotok Kabupaten Minahasa Tenggara Provinsi Sulawesi Utara. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis* 12(3):170–176. <https://doi.org/10.35800/jplt.12.3.2024.59883>
- Kosasih AS, Mindawati N. 2011. Pengaruh jarak tanam pada pertumbuhan tiga jenis meranti di Hutan Penelitian Haurbantes. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan* 5(2):1–10. DOI: [10.20886/jped.2011.5.2.1-10](https://doi.org/10.20886/jped.2011.5.2.1-10)
- Makai M, Walangitan HD, Kainde. 2020. Study of mahogany growth (*Swietenia macrophylla* King) watershed rehabilitation activity area. *Cocos* 12(4):1–12. <https://doi.org/10.35791/cocos.v1i1.31821>
- Maruapey A, Nanlohy LH, Saeni F, Ohorrella S. 2024. Potensi dan sebaran diameter batang terhadap dugaan sekuestrasi karbon pada tegakan Dipterocarpaceae. *Median Jurnal Ilmu* 16(1):57–66. <http://org/10.33506/md.v16i1.3613>
- Massolo AD, Tetelay FF, Aponno HSES. 2024. Riap tanaman titi (*Gmelina moluccana*) umur 10 tahun di Negeri Hatusua Kecamatan Kairatu. *Jurnal Sylva Scienteeae* 7(3):355–371. <https://doi.org/10.20527/jss.v7i3.12541>
- Mawazin H, Suhaendi. 2008. Pengaruh jarak tanam terhadap pertumbuhan diameter *Shorea parvifolia* Dyer. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam* 5(4):381–388. <https://doi.org/10.20886/jphka.2008.5.4.381-388>
- Pamoengkas P, Erizilina E. 2019. Struktur tegakan tanaman meranti tembaga (*Shorea leprosula* Miq.) di Hutan Penelitian Haurbantes, Jasinga. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan* 9(1):61–67. <https://doi.org/10.29244/jpsl.9.1.61-67>
- Pratama MI, Delvian, Hartini KS. 2016. Struktur vegetasi dan cadangan karbon tegakan di kawasan hutan cagar alam Lembah Harau Kabupaten Lima Puluh Kota Sumatera Barat. *Peronema Forestry Science Journal* 5(1):19–27. <https://www.neliti.com/publications/160571/struktur-vegetasi-dan-cadangan-karbon-tegakan-di-kawasan-hutan-cagar-alam-lembah>
- Prijono. 2016. Pertumbuhan dan serangan hama pada tanaman jabon (*Antocephalus cadamba*) umur empat tahun. *Jurnal Wana Tropika* 6(1):18–31. <https://jurnal.instiperjogja.ac.id/index.php/JWT/article/view/138>
- Rahawarin MF, Irwanto I, Hadijah MH. 2025. Biomassa tumbuhan bawah pada

- berbagai tipe hutan alam di Negeri Hatusua. *Jurnal Sains dan Teknologi* 1(11):1113–1128.
<https://doi.org/10.69840/marsegu/1.11.2025.1113-1128>
- 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.
<https://doi.org/10.59465/jpht.v20i1.160>
- Rasyid RN, Rokhim S. 2025. Pengaruh jarak tanam terhadap pertumbuhan tanaman jati (*Tectona grandis* L.f.) umur 2 tahun. *Journal of Applied Agricultural Sciences* 7(2):237–245.
<https://doi.org/10.36423/agroscript.v7i2.2505>
- Rosalia J, Utami WB, Pratiwi DN. 2022. Pengaruh struktur modal, profitabilitas, kebijakan dividen, sales growth, dan ukuran perusahaan terhadap nilai perusahaan (studi kasus pada perusahaan properti dan real estate yang terdaftar pada bursa efek Indonesia tahun 2015-2019). *Jurnal Akuntansi dan Pajak* 22(2):971–979. <https://www.jurnal.stie-aas.ac.id/index.php/jap/article/view/2952>
- Sardi, Wahyu DPA, Kainde RP, Nurmawan W. 2022. Cadangan karbon pada pohon di Taman Hutan Raya Gunung Tumpa HV Worang. *Cocos* 14(3):1–17.
<https://doi.org/10.35791/cocos.v8i8.38736>
- Sumadi A, Siahaan H. 2011. Pengaturan kerapatan tegakan bambang berdasarkan hubungan antara diameter batang dan tajuk. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman* 8(5):259–265.
[10.20886/jpht.2011.8.5.259-265](https://doi.org/10.20886/jpht.2011.8.5.259-265)
- Suryani AAW, Tito SI, Prasetyo HD. 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>
- Tampubolon G, Suryanto S, Thalia O. 2022. Study of soil organic material content and production of fresh fruits in several systems management oil palm produces. *Jurnal Silva Tropika* 6(1):1–14.
<https://doi.org/10.22437/jsilvtrop.v6i1.20163>
- Wang X, Chen X, Xu J, Ji Y, Du X, Gao J. 2023. Precipitation dominates the allocation strategy of above-and belowground biomass in plants on macro scales. *Plants* 12(15).
<https://doi.org/10.3390/plants12152843>
- Yuningsih L, Lensari D, Milantara N. 2018. Perhitungan simpanan karbon atas permukaan di Hutan Lindung KPHP Meranti untuk mendukung program redd+. *Jurnal Silva Tropika* 2(2):77–83.
[doi:10.22437/jsilvtrop.v2i3.6356](https://doi.org/10.22437/jsilvtrop.v2i3.6356)
- Zeide B. 2001. Natural thinning and environmental change: an ecological process model. *Forest Ecology and Management* 154(1–2):165–177.
[10.1016/S0378-1127\(00\)00621-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00621-6)