

ANALISIS SIMPANAN DAN NILAI EKONOMI KARBON PADA SISTEM  
AGROFORESTRI DI CIANJUR, JAWA BARAT

*Analysis of Carbon Storage and Economic Value in Agroforestry Systems in  
Cianjur, West Java*

SOPANDI SUNARYA<sup>1)</sup>, RODRIGO IGNASIUS SINAGA<sup>1)</sup>,  
DAN ALFI RUMIDATUL<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati, Institut Teknologi Bandung

\*Email: [alfirumidatul@itb.ac.id](mailto:alfirumidatul@itb.ac.id)

**ABSTRACT**

*Proactive measures are essential to lower the amount of carbon dioxide in the atmosphere and lessen the impacts of climate change. Agroforestry, a method where trees are grown together with crops, is a viable solution for improving carbon capture. This research seeks to measure how much carbon is stored and how much CO<sub>2</sub> is absorbed by different agroforestry systems in Mentengsari Village, located in Cianjur, West Java. It also evaluates the financial benefits based on the amount of carbon absorbed. Data was gathered using a targeted sampling method across plots that were each 20 meters by 20 meters. The biomass from trees, plants growing beneath them, leaf litter, and soil was measured. The amount of carbon stored was calculated using standard formulas for estimating tree size. The value of the carbon absorbed was calculated at \$2 for every megagram of carbon. The findings show that the alley cropping system had the greatest ability to store carbon (17.75 tonnes per hectare) and absorb CO<sub>2</sub> (65.08 tonnes per hectare). Overall, the total amount of CO<sub>2</sub> absorbed across the study area was 284.91 tonnes per hectare, which translates to an estimated economic value of 9,248,347 Indonesian rupiah per hectare. In summary, agroforestry, especially alley cropping, greatly improves carbon storage and offers considerable economic advantages. This highlights their role in managing land sustainably and combating climate change.*

**Keywords:** Mitigation, biomass, sustainability, allometric, valuation.

**PENDAHULUAN**

Perubahan iklim global yang dipicu oleh peningkatan konsentrasi gas rumah kaca, terutama karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), telah mendorong upaya mitigasi melalui penyerapan dan penyimpanan karbon (Kabir *et al.* 2023). Sektor kehutanan dan penggunaan lahan berperan penting dalam penyerapan CO<sub>2</sub>, termasuk melalui sistem agroforestri. Sistem agroforestri menjadi salah satu alternatif strategis dalam

mitigasi perubahan iklim karena mampu menyerap dan menyimpan karbon secara efektif melalui biomassa pohon dan tanaman sela yang tumbuh bersama dalam suatu pola tanam yang berkelanjutan (Nair *et al.* 2022). Studi terbaru menunjukkan bahwa agroforestri dapat mengurangi deforestasi dan menghasilkan penyimpanan karbon yang substansial pada skala lansekap, sehingga berpotensi menjadi sumber kredit karbon dan instrumen pendanaan hijau (Teo *et al.* 2025).

Sistem agroforestri yang dikembangkan di Desa Mentengsari menerapkan pola kombinasi tanaman kehutanan dengan tanaman pertanian semusim. Jenis pohon yang banyak ditanam antara lain sengon (*Falcataria moluccana*) dan jabon (*Anthocephalus cadamba*), yang berfungsi sebagai peneduh dan pengikat karbon jangka panjang. Di sela-sela tegakan tersebut ditanam tanaman pangan seperti jagung, kacang tanah, singkong, serta sayuran semusim yang dapat memberikan hasil cepat bagi petani. Berdasarkan karakteristik fisik dan pengelolaannya, lahan agroforestri di Desa Mentengsari dapat dikategorikan sebagai lahan kritis produktif, yaitu lahan yang mengalami degradasi ringan hingga sedang namun telah direstorasi melalui penerapan sistem agroforestri berbasis masyarakat. Lahan tersebut bukan merupakan kawasan hutan lindung negara, melainkan lahan pertanian rakyat yang dikelola secara mandiri oleh petani dengan bimbingan teknis dari institusi pendidikan dan pemerintah daerah.

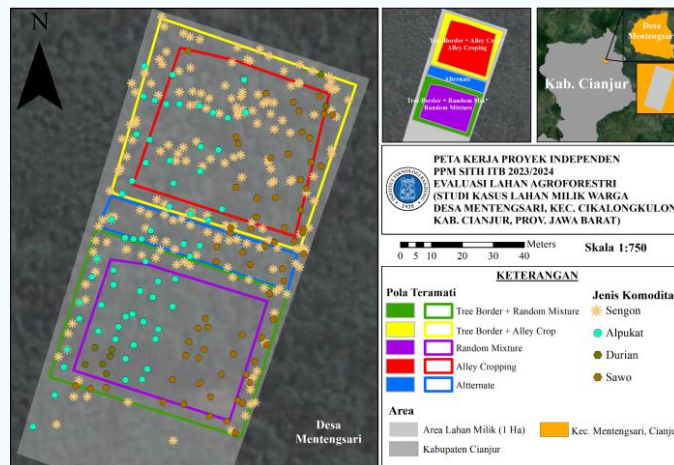
Desa Mentengsari, Kecamatan Cikalongkulon, Kabupaten Cianjur, memiliki lahan agroforestri yang berpotensi signifikan untuk meningkatkan simpanan karbon tanah sekaligus memberikan nilai ekonomi melalui serapan CO<sub>2</sub>, selaras dengan agenda mitigasi perubahan iklim nasional. Namun, potensi simpanan karbon serta nilai ekonomi dari serapan CO<sub>2</sub> di wilayah ini belum terkuantifikasi. Estimasi simpanan karbon dan valuasi ekonominya diperlukan untuk memberikan dasar kebijakan pengelolaan lahan berkelanjutan dan insentif bagi masyarakat dalam skema pembayaran jasa lingkungan atau *carbon trading* (Pertiwi *et al.* 2022). Kebijakan harga karbon Indonesia yang baru dan temuan riset terkini menunjukkan bahwa sistem agroforestri dapat menyimpan hingga ratusan ton per hektar (t C ha<sup>-1</sup>) dan secara simultan mengurangi laju deforestasi. Studi regional di Asia Tenggara melaporkan agroforestri menyelamatkan sekitar 250.319 ha hutan per tahun (Teo *et al.* 2025).

Studi sebelumnya menunjukkan bahwa agroforestri di Jawa Barat memiliki potensi simpanan karbon antara 30–100 Mg C/ha (Ibrahim & Lukman 2022), tetapi variasi ini bergantung pada komposisi vegetasi dan umur tanaman. Selain itu, valuasi ekonomi serapan CO<sub>2</sub> dapat menjadi argumen untuk mendorong pelestarian agroforestri sebagai bagian dari solusi berbasis alam dalam mitigasi perubahan iklim (IPCC, 2022). Di Provinsi Jawa Barat khususnya di Kabupaten Cianjur, Desa Mentengsari dengan lahan agroforestri yang beragam berpeluang menjadi lokasi

studi penting untuk melakukan estimasi simpanan karbon dan valuasi ekonomi penyerapan CO<sub>2</sub> secara lebih spesifik sesuai dengan kondisi lokal. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi simpanan karbon, serapan CO<sub>2</sub>, dan nilai ekonomi serapan karbon pada sistem agroforestri di Desa Mentengsari, Cianjur

## METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan pada bulan Januari sampai April 2024 di lahan agroforestri milik warga di Desa Mentengsari, Kecamatan Cikalongkulon, Kabupaten Cianjur, Provinsi Jawa Barat. Peta lahan kerja pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



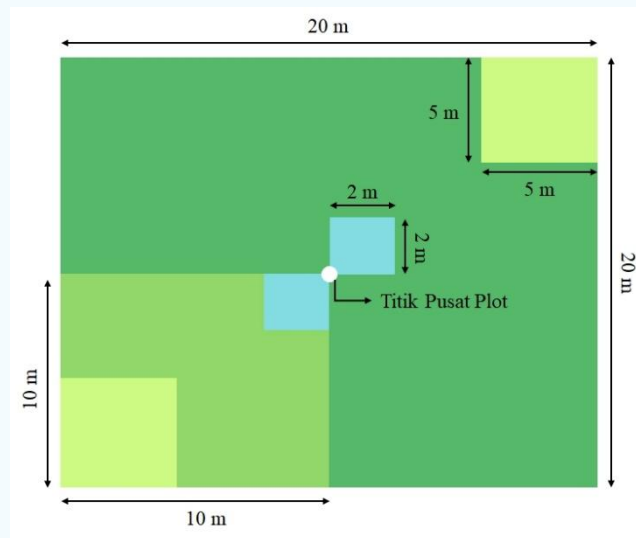
Gambar 1 Peta Area Kajian Penelitian.

Lokasi penelitian memiliki kondisi iklim mikro yaitu suhu udara rata-rata 36,81°C, kelembaban udara rata-rata 51,33%, dan intensitas cahaya berkisar antara 3200 hingga 11710 Lux. Faktor edafik di lokasi penelitian menunjukkan suhu tanah rata-rata 33,13°C dan pH tanah rata-rata 6,75.

Metode yang digunakan dalam pengambilan data adalah metode *purposive* sampling. Dalam metode ini, plot yang digunakan adalah plot tersarang (*nested plot*) berukuran 20 x 20 meter. Di dalam plot ini dilakukan pengambilan data primer sebagai data utama dalam estimasi simpanan karbon. Bentuk plot yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.

Pengambilan data primer untuk estimasi simpanan karbon ini menggunakan pendekatan biomassa. Pengukuran biomassa ini kemudian nantinya akan dikonversikan ke nilai karbon. Untuk pengukuran biomassa ini dibagi menjadi beberapa pool yaitu biomassa pohon, biomassa tumbuhan bawah, biomassa serasah, biomassa pohon mati (*necromass*), dan biomassa bawah permukaan tanah (*akar*).

Untuk tanah sendiri dapat diestimasi karbonnya menggunakan metode *loss on ignition*.



Gambar 2 *Nested Plot* untuk Sampling.

Pengukuran biomassa dilakukan saat penentuan jumlah plot inventarisasi tegakan pada area kajian. Dalam hal ini, mengelompokkan plot sampling dalam populasi berdasarkan karakteristik, lalu memilih sampel secara acak dari setiap kelompok tersebut (Luo *et al.* 2023). Digunakan intensitas sebesar 23% untuk menentukan jumlah plot sampling dengan rumus sebagai berikut:

$$LS = i \times LP$$

$$n = LS/UP$$

Keterangan:

LS : luas sampling per pola

i : intensitas sampling (*purposive*) = 23% dari lahan milik

LP : luas pola agroforestri

N : jumlah plot sampling

UP : ukuran plot = 0,04 Ha atau 0,01 Ha

Penempatan plot dilakukan dengan pertimbangan keterwakilan dari tiap pola pada areal penelitian. Berdasarkan hasil perhitungan di atas, maka jumlah total plot 10 plot dengan masing-masing: *Trees along border + alley cropping* 2 plot, *alley cropping* 1 plot, *alternate rows* 2 plot, *trees along border + random mixture* 2 plot, dan *random mixture* 1 plot.

Pengukuran biomassa pohon dilakukan pada plot berukuran 20 x 20 meter. Untuk kelompok tiang dilakukan pada plot 10 x 10 meter dan kelompok pancang pada plot 5 x 5 meter. Kemudian data DBH diambil pada setiap individunya.

Kemudian nilai biomassa dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut (Salviana et al. 2024).

$$Bp = 0.0986 D^2 H^{0.8144}$$

Keterangan:

Bp : Biomassa pohon

D : DBH (*Diameter at Breast Height*)

H : tinggi pohon

Persamaan allometri ini hanya digunakan untuk spesies *Falcataria moluccana* karena pada area kajian hanya spesies tersebut yang sudah mencapai tahap pancang.

Pengukuran biomassa untuk semai diestimasi menggunakan metode destruktif di plot berukuran 2 x 2 meter. Dikarenakan semai yang ada merupakan tanaman budidaya, maka digunakan pendekatan allometri untuk mengestimasi biomassa dari semai. Berikut persamaan allometri untuk biomassa semai (Paradika et al. 2021).

$$ABG = 0.026(Di^2 \times SH)^{0.739}$$

Keterangan:

ABG : *Aboveground biomass* semai

Di : *Collar diameter*

SH : *Shoot height*

Untuk serasah dan tumbuhan bawah sendiri, metode untuk mengestimasi biomassa adalah metode destruktif. Sampel diambil secara destruktif di plot berukuran 2x2 meter (Rahawarin et al. 2025). Kemudian, serasah dan tumbuhan bawah ditimbang secara terpisah untuk mendapatkan berat basah pada masing masing sampel. Biomassa serasah dan tumbuhan bawah masing-masing dapat diestimasi dengan persamaan berikut.

$$B_o = \frac{B_{ks} \times B_{bt}}{B_{bs}}$$

Keterangan:

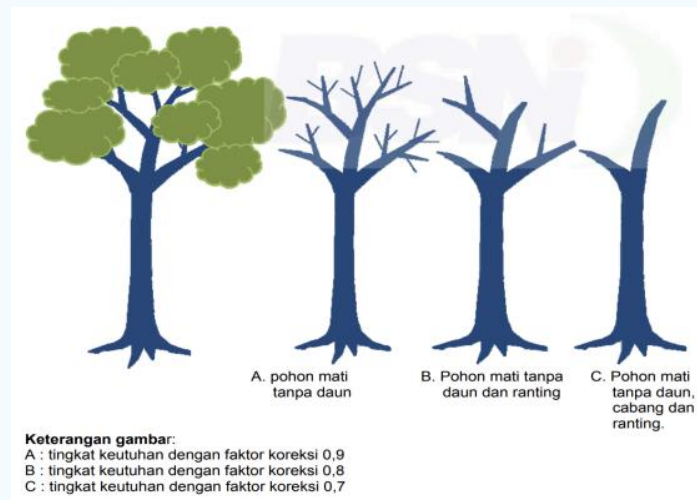
B<sub>o</sub> : biomassa serasah dan tumbuhan bawah

B<sub>ks</sub> : berat kering subsampel

B<sub>bt</sub> : berat basah total

B<sub>bs</sub> : berat basah subsampel

Biomassa pohon mati (*necromass*) diestimasi dengan metode non-destruktif. Metode ini sama dengan pengukuran biomassa pohon yaitu pengukuran DBH untuk pohon mati tersebut lalu digunakan faktor koreksi untuk mendapatkan biomassa pohon mati.



Gambar 3 Tingkat Keutuhan Pohon Mati (Yolanda et al., 2024).

Biomassa bawah tanah dapat diestimasi menggunakan metode nisbah akar pucuk. Metode ini akan menggunakan data biomassa atas permukaan lalu dikalikan dengan faktor nisbah akar pucuk. Berikut persamaan untuk mengestimasi biomassa bawah tanah (Basuki & Mandala 2024).

$$B_{bt} = NAP \times B_{at}$$

Keterangan:

$B_{bt}$  : biomassa bawah tanah

$B_{at}$  : biomassa atas tanah

NAP : nisbah akar pucuk (0,205)

Estimasi biomassa menggunakan sampel tanah yang diambil menggunakan ring core sampler di titik tengah plot 20 x 20 meter. Kemudian, sampel tanah tersebut ditimbang berat basahanya. Kemudian dihitung nilai SOM (*Soil Organic Matter*) dengan persamaan (Ulianata et al. 2021):

$$SOM = \frac{B_{ks} - B_{as} \times 100\%}{B_{ks}}$$

Keterangan:

SOM : bahan organik tanah

$B_{ks}$  : berat kering subsampel

$B_{as}$  : berat abu subsampel

Setelah semua pool diketahui nilai biomasanya, maka nilai karbon dapat diestimasi dengan persamaan (Farahisah et al. 2021):

$$C_b = B \times 0,47$$

Keterangan:

$C_b$  : simpanan karbon  
 $B$  : biomassa per pool

Jumlah estimasi karbon tersebut kemudian dikonversi menjadi simpanan karbon per hektar dengan persamaan (Farahisah et al. 2021):

$$C_{ha} = \frac{C_b \times 10000}{1000 L_{plot}}$$

Keterangan:

$C_{ha}$  : simpanan karbon dalam hektar  
 $C_b$  : simpanan karbon pada masing-masing pool  
 $L_{plot}$  : luas plot pada masing-masing pool

Untuk karbon tanah sendiri, pendekatan yang dilakukan adalah menggunakan SOM (*Soil organic matter*). Nilai SOM kemudian dikonversi menjadi nilai karbon dengan persamaan (Sari et al. 2023):

$$C_t = (K_d \times \rho \times \%C \text{ organik}) \times 100$$

Keterangan:

$C_t$  : karbon tanah  
 $K_d$  : kedalaman pencuplikan tanah  
 $\rho$  : kerapatan tanah (bulk density)  
 $\%C \text{ organik}$  : 50% SOM (*Soil Organic Matter*)

Setelah semua nilai estimasi karbon dalam berbagai pool telah diketahui, nilai karbon secara keseluruhan dapat diketahui melalui persamaan:

$$C_{total} = C_{Bat} + C_{bo} + C_{Bbt} + C_{Pm} + C_t$$

Keterangan:

$C_{total}$  : simpanan karbon total  
 $C_{Bat}$  : simpanan karbon di atas permukaan tanah  
 $C_{bo}$  : simpanan karbon serasah dan tumbuhan bawah  
 $C_{Bbt}$  : simpanan karbon serasah dan tumbuhan bawah  
 $C_{Pm}$  : simpanan karbon pohon mati  
 $C_t$  : simpanan karbon tanah

Setelah nilai estimasi karbon yang tersimpan pada area kajian telah diketahui, maka perlu dilakukan estimasi serapan karbon agar valuasi ekonominya dapat diketahui. Untuk mengestimasi nilai serapan karbon dapat menggunakan persamaan (Darlina et al. 2023):

$$S \text{ CO}_2 = \frac{Mr \text{ CO}_2 \times C}{Ar \text{ C}}$$

**Keterangan:**

$S \text{ CO}_2$  : serapan karbondioksida

$Mr \text{ CO}_2$  : massa molekul relatif  $\text{CO}_2$

$Ar \text{ C}$  : massa atom relatif C

Kemudian, nilai serapan karbon ini dapat divalusi dengan rata-rata nilai karbon sebesar \$2  $\text{MgC}^{-1}$  sebagai hasil kesepakatan *Chicago Climate Exchange* menggunakan persamaan berikut (Putra *et al.* 2023):

$$\text{TDCO}_2 = (\text{DCO}_2 \times \text{La}) \times \text{Ha}$$

$\text{TDCO}_2$  : Nilai ekonomi total serapan karbondioksida

$\text{DCO}_2$  : Total serapan karbon dioksida

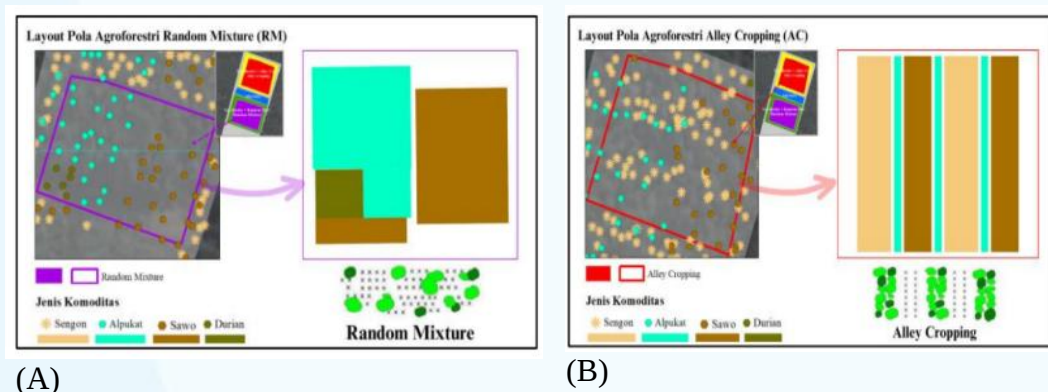
$\text{La}$  : Luas area

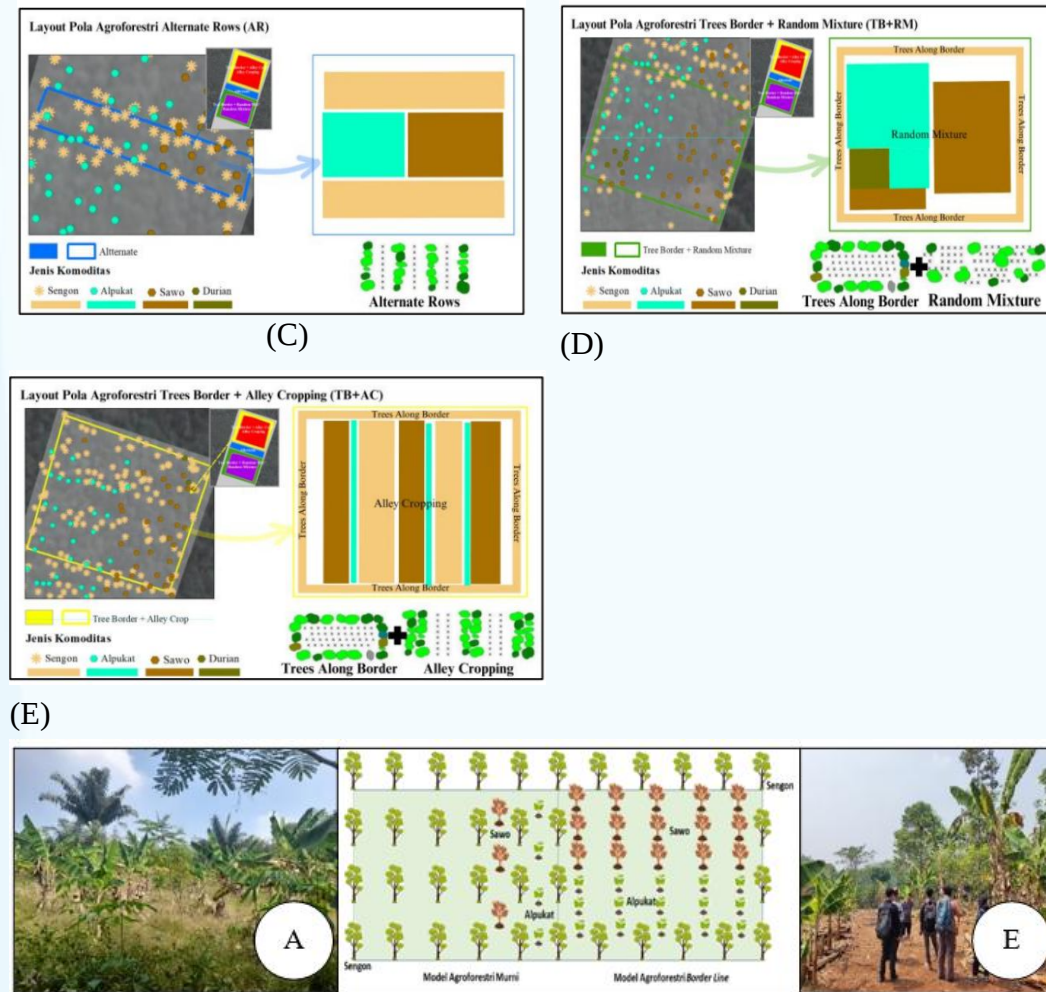
$\text{Ha}$  : Harga nilai karbon (Rp. 32.460,00)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Estimasi Nilai Simpanan Karbon dalam Beberapa Pola Agroforestri

Pola agroforestri yang terdapat di area kajian, berdasarkan penggunaan ruang oleh komponen tanaman di dalamnya yang dikemukakan oleh Leunufna *et al.* 2023), termasuk ke dalam 5 pola agroforestri. Terdapat 3 pola tunggal yaitu pola *random mixture* (RM), pola *alley cropping* (AC), pola *alternate rowa* (AR) dan 2 pola gabungan yaitu pola *tress border* dengan pola *random mixture* (TB+RM) dan pola *trees border* dengan pola *alley cropping* (TB+AC). Visualisasi pada setiap pola dengan menggambarkan struktur horizontal tegakan dapat diamati pada Gambar 4.





Gambar 4 Pola Agroforestri (A) Pola *Random Mixture* (RM), (B) Pola *Alley Cropping* (AC), (C) Pola *Alternate Row* (AR), (D) Pola *Trees Along Border* dengan Pola *Random Mixture* (TB+RM), (E) Pola *Trees Along Border* dengan Pola *Alley Cropping* (TB+AC).

Simpanan karbon adalah jumlah total karbon yang tersimpan dalam komponen-komponen ekosistem (tanaman, tanah, bahan organik mati, dan produk kayu) pada suatu lahan atau sistem agroforestri pada satu titik waktu. Simpanan ini mencakup karbon biomassa di atas dan bawah tanah, serta karbon tanah organik yang terakumulasi melalui proses fotosintesis dan pengurangan respirasi mikroba (Cardinael *et al.* 2025). Menurut Maharjan *et al.* (2024), simpanan karbon (*carbon stock*) merujuk pada kuantitas karbon (biasanya dalam  $\text{ton C ha}^{-1}$ ) merupakan ukuran potensi mitigasi iklim karena karbon yang tersimpan tidak berkontribusi pada konsentrasi  $\text{CO}_2$  atmosfer.

Karbon disimpan dalam senyawa organik melalui proses fotosintesis dan dekomposisi. Sistem agroforestri menggabungkan pohon dan tanaman pertanian yang secara sinergis meningkatkan akumulasi biomassa, sehingga meningkatkan

cadangan karbon di atas dan di bawah tanah. Agroforestri, seperti di Desa Mentengsari, meningkatkan simpanan karbon melalui diversifikasi vegetasi yang menyerap CO<sub>2</sub> atmosfer. Nilai estimasi simpanan karbon pada pola-pola agroforestri di Desa Mentengsari dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Estimasi karbon total pada tiap pola agroforestri

| Pola agroforestri                          | Simpanan karbon (Ton/ha) |
|--------------------------------------------|--------------------------|
| <i>Trees along border + alley cropping</i> | 16,90                    |
| <i>Alley cropping</i>                      | 17,75                    |
| <i>Alternate rows</i>                      | 13,45                    |
| <i>Trees along border + random mixture</i> | 14,94                    |
| <i>Random mixture</i>                      | 14,67                    |
| <b>Total</b>                               | <b>77,70</b>             |

Hasil penelitian (Tabel 1) menunjukkan variasi simpanan karbon di lahan agroforestri Desa Mentengsari, dengan pola *alley cropping* mencatat simpanan tertinggi (17,75 ton/ha), diikuti oleh *trees along border* dengan *alley cropping* (16,90 ton/ha), *random mixture* (14,67 ton/ha), dan *alternate rows* (13,45 ton/ha). Perbedaan ini dipengaruhi oleh komposisi vegetasi, kerapatan pohon, dan umur tanaman. Pola *alley cropping* dalam penelitian ini mengintegrasikan *Falcataria moluccana*, *Persea americana*, dan *Manilkara zapota*. Kehadiran *F. moluccana* yang berumur muda ( $\pm 1$  tahun) tetapi berkarakter cepat tumbuh memberikan kontribusi besar terhadap biomassa di atas permukaan.

Pola *alley cropping* memberikan nilai simpanan karbon tertinggi dibandingkan pola-pola lainnya. Peningkatan simpanan karbon total pada pola *alley cropping* 4,79% dibanding *trees along border + alley cropping*, 24,23% dibanding *alternate rows*, 15,83% dibanding *trees along border + random mixture*, dan 17,35% dibanding *random mixture*. Peningkatan nilai-nilai tersebut masih lebih tinggi (kecuali dengan *trees along border + alley cropping*) dengan perbandingan *alley cropping* dengan non-agroforestri (konvensional) temuan Pan *et al.* (2025), yang melaporkan terjadi peningkatan stok karbon tanah pada sistem agroforestri (pola *alley cropping*) dengan kenaikan rata-rata 10 % dibanding konvensional pada pola serupa yang mengintegrasikan pohon legum cepat tumbuh (*Leucaena leucocephala*).

Tingginya simpanan karbon pada *alley cropping* disebabkan oleh dominasi pohon *Falcataria moluccana* yang memiliki biomassa tinggi, didukung oleh studi Suhag *et al.* (2025), yang menyatakan sistem ini meningkatkan karbon tanah dan biomassa. *Alley cropping* adalah sistem agroforestri yang dicirikan oleh penanaman tanaman pohon atau semak dalam barisan sejajar dengan jarak tertentu, dan di antara barisan tersebut ditanam tanaman semusim atau tanaman pangan. Selain itu, pola *alley cropping* ini juga memiliki efek yang baik untuk meningkatkan

sekuestrasi karbon tanah, sehingga pola *alley cropping* ini dapat menjadi strategi dalam menghadapi perubahan iklim (Suhag *et al.* 2025).

Pola *trees along border* dengan *alley cropping* tetap memberikan kontribusi signifikan, menegaskan peran *buffer strip* dalam mengakumulasi biomassa pohon dan meningkatkan penyerapan CO<sub>2</sub>. Studi di India menunjukkan bahwa penambahan pohon tepi (*border trees*) meningkatkan stok karbon hingga 12 % dibandingkan tanpa penanaman border (Kiran *et al.* 2023). Kehadiran pohon pada batas lahan meningkatkan struktur vertikal vegetasi dan input serasah ke tanah sehingga mendukung peningkatan karbon tanah (Ivezić *et al.* 2022). Selain itu, konfigurasi pohon di batas lahan dapat memodifikasi iklim mikro dan mengurangi stress lingkungan pada tanaman pangan, yang pada gilirannya dapat meningkatkan produktivitas dan input biomassa.

Pola *alternate rows* memiliki simpanan lebih rendah karena komposisi vegetasi yang kurang padat. Pola ini sering mengutamakan ruang bagi tanaman semusim sehingga terdapat *trade-off* antara produksi pangan jangka pendek dan sekuestrasi karbon jangka panjang. Temuan ini sejalan dengan penelitian Ivezić *et al.* (2022) yang menunjukkan bahwa kerapatan pohon dan diversifikasi spesies berpengaruh signifikan terhadap akumulasi karbon. Namun, usia tanaman yang masih muda (1 tahun) menunjukkan potensi peningkatan simpanan karbon di masa depan. Dari perspektif perbaikan sifat tanah, pola *alternate rows* masih memberi manfaat melalui input serasah dan aktivitas perakaran, tetapi laju akumulasi karbon tanah mungkin lebih lambat dibanding pola dengan pohon intensif. Intervensi seperti penambahan legume, manajemen residu, dan praktik konservasi tanah dapat membantu meningkatkan input bahan organik dan mempercepat akumulasi karbon pada pola ini (Ivezić *et al.* 2022).

### Estimasi Serapan CO<sub>2</sub>

Setelah mendapatkan nilai estimasi simpanan karbon, maka kita dapat mengestimasi nilai serapan CO<sub>2</sub> dari udara. Serapan CO<sub>2</sub> adalah proses dimana tanaman dalam sistem agroforestri menyerap karbon dioksida dari atmosfer melalui fotosintesis dan mengonversinya menjadi biomassa yang menyimpan karbon secara permanen dalam batang, akar, dan bahan organik tanah. Studi terkini menunjukkan bahwa laju serapan CO<sub>2</sub> dalam sistem agroforestri bervariasi, dengan nilai yang secara signifikan dipengaruhi oleh jenis dan kepadatan pohon serta pengelolaan lahan. Nilai estimasi serapan CO<sub>2</sub> pada beberapa pola agroforestri Desa Mentengsari dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Estimasi serapan CO<sub>2</sub> di tiap pola agroforestri

| Pola agroforestri                          | Serapan CO <sub>2</sub> (Ton/ha) |
|--------------------------------------------|----------------------------------|
| <i>Trees along border + alley cropping</i> | 61,96                            |
| <i>Alley cropping</i>                      | 65,08                            |
| <i>Alternate rows</i>                      | 49,30                            |
| <i>Trees along border + random mixture</i> | 54,77                            |
| <i>Random mixture</i>                      | 53,77                            |
| <b>Total</b>                               | <b>284,91</b>                    |

Nilai serapan CO<sub>2</sub> berkorelasi langsung dengan simpanan karbon yang diukur. Pola *alley cropping* memiliki serapan CO<sub>2</sub> tertinggi sebesar 65,08 ton/ha, diikuti oleh *trees along border* dengan *alley cropping* (61,96 ton/ha), *trees along border* dengan *random mixture* (54,77 ton/ha), *random mixture* (53,77 ton/ha), dan *alternate rows* (49,30 ton/ha). Perbedaan serapan antar pola disebabkan oleh variasi biomassa dan produktivitas fotosintesis. Studi Dicky *et al.* (2025) menyebutkan bahwa sistem agroforestri dengan pohon berkanopi lebar memiliki efisiensi serapan CO<sub>2</sub> lebih tinggi.

Serapan CO<sub>2</sub> tertinggi ditemukan pada *alley cropping*, sesuai dengan tingginya simpanan karbon. Pohon *Falcataria moluccana* berkontribusi 10,35 kg CO<sub>2</sub>/pohon, sementara *Persea americana* (43,20 kg/pohon) dan *Manilkara zapota* (36,19 kg/pohon) turut meningkatkan serapan (Febriansyah *et al.* 2022). Serapan tertinggi pada *alley cropping* menunjukkan sinergi antara *intercropping* dan pembentukan akar dalam yang meningkatkan alokasi karbon ke biomassa di atas tanah dan substrat tanah. Penelitian Kiran *et al.* (2023) menegaskan bahwa agroforestri meningkatkan penyerapan CO<sub>2</sub> sebesar 25 % dibandingkan *monocrop*.

Secara total, serapan CO<sub>2</sub> pada seluruh area kajian mencapai 284,91 ton/ha, menunjukkan potensi agroforestri sebagai solusi berbasis alam untuk mitigasi iklim. Angka ini selaras dengan temuan Suhag *et al.* (2025) bahwa pola *alley cropping* dapat meningkatkan sequestrasi karbon tanah dan biomassa secara signifikan dibandingkan sistem tanpa pohon. Peran *F. moluccana* sebagai spesies cepat tumbuh juga menjadi faktor dominan, di mana penelitian sebelumnya menunjukkan kemampuan menyerap CO<sub>2</sub> hingga ±10,35 kg/pohon/tahun pada umur muda. Dalam konteks global, agroforestri dilaporkan mampu berkontribusi besar terhadap mitigasi perubahan iklim, Teo *et al.* (2025) mencatat bahwa adopsi agroforestri di Asia Tenggara dapat mencegah deforestasi ±250.000 ha/tahun, setara dengan mitigasi emisi 58,8 MtCO<sub>2</sub>e per tahun.

## Valuasi Ekonomi Serapan CO<sub>2</sub>

Berdasarkan kesepakatan *Chicago Climate Exchange* terkait dengan valuasi jasa lingkungan terutama pada serapan CO<sub>2</sub>, maka kita dapat mengetahui valuasi ekonomi dari serapan karbon pada area kajian. Valuasi ini menggunakan rata-rata nilai karbon sebesar \$2 MgC-1 hasil kesepakatan *Chicago Climate Exchange* (Awazi *et al.* 2025). Nilai total serapan CO<sub>2</sub> 284,91 ton/ha, dengan memakai tarif Rp 32.460/ton CO<sub>2</sub>, maka setara dengan Rp 9.248.347. Nilai ini berpotensi meningkat jika harga karbon pasar domestik digunakan. IDXCarbon (2024) mencatat bahwa harga kredit karbon di Indonesia dapat mencapai Rp 60.000–100.000/ton CO<sub>2</sub> tergantung sertifikasi dan jenis proyek (Zefanya dan Sibarani, 2024). Jika dibandingkan dengan studi agroforestri jangka panjang Barman *et al.* (2025) yang mencatat peningkatan stok CO<sub>2</sub> sebesar 30 % pada lahan hutan sekunder yang direhabilitasi, hasil ini masih berada pada level menengah tetapi menunjukkan potensi yang signifikan untuk mekanisme kredit karbon.

Valuasi ekonomi dari serapan CO<sub>2</sub> sebesar Rp 9.248.347, nilai ekonomi ini berdasarkan luas area kajian yaitu 1 hektar. Valuasi ini berdasarkan kredit karbon yang telah menjadi suatu standar akan valuasi jasa lingkungan. Kredit karbon adalah unit yang dapat diperdagangkan yang mewakili emisi gas rumah kaca setara satu ton CO<sub>2</sub>. Satu kredit karbon mewakili hak untuk mengeluarkan satu ton CO<sub>2</sub> atau setaranya ke atmosfer. Oleh karena itu, valuasi ekonomi dari serapan karbon pada lahan agroforestri ini dapat menjadi strategi untuk mengatasi permasalahan iklim dan juga meningkatkan kesejahteraan petani selama nilai jual karbon berada dalam regulasi CDM (*Clean Development Mechanism*) (Awazi *et al.* 2025).

Penelitian terbaru tentang penetapan harga karbon di pasar Asia-Pasifik menunjukkan tren kenaikan tarif karbon sebesar 5 % per tahun sejak 2020, yang dapat meningkatkan nilai ekonomi hingga > US\$ 1.000 / ha dalam lima tahun ke depan (Cardinael *et al.* 2025). Oleh karena itu, implementasi sistem agroforestri *alley cropping* tidak hanya memberikan manfaat ekologi, tetapi juga peluang pendapatan tambahan bagi petani melalui skema kredit karbon atau mekanisme *offset*. Awazi *et al.* (2025) menekankan bahwa integrasi mekanisme *Payment for Environmental Services* (PES) berbasis karbon dapat memberikan insentif signifikan bagi petani untuk mempertahankan dan mengembangkan agroforestri. Namun, untuk masuk ke pasar karbon, diperlukan sistem Monitoring, Reporting, and Verification (MRV) yang memenuhi standar internasional seperti Verra atau Gold Standard. Kendala implementasi termasuk belum adanya regulasi lokal yang mengatur perdagangan karbon. Studi Siagian *et*

al. (2024) menekankan perlunya kebijakan pendukung untuk mengintegrasikan agroforestri ke dalam pasar karbon *voluntary*.

### KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem agroforestri dengan pola *alley cropping* memiliki estimasi simpanan karbon tertinggi sebesar 17,75 ton/ha dan serapan CO<sub>2</sub> sebesar 65,08 ton/ha, diikuti oleh pola *tree along border* dengan *alley cropping* yang menyimpan 16,90 ton/ha karbon. Pola lainnya memiliki simpanan karbon antara 13,45 hingga 14,94 ton/ha. Berdasarkan harga karbon dari *Chicago Climate Exchange* sebesar sekitar \$2 per MgC, valuasi ekonomi untuk jasa penyerapan CO<sub>2</sub> di lahan agroforestri ini mencapai Rp 9.248.347 per hektar, menunjukkan potensi ekonomi yang signifikan selain fungsi mitigasi iklim. Pohon *Falcataria moluccana* yang dominan khususnya pada pola *alley cropping* berkontribusi besar pada simpanan karbon, dan dengan usia tanaman yang masih muda, potensi peningkatan simpanan karbon ke depannya sangat besar. Secara keseluruhan, agroforestri dengan pola *alley cropping* tidak hanya efektif dalam meningkatkan kapasitas penyimpanan karbon dan penyerapan CO<sub>2</sub> tetapi juga mampu memberikan manfaat ekonomi bagi masyarakat lokal, sehingga mendukung pengembangan lahan yang berkelanjutan sekaligus mitigasi perubahan iklim di Desa Mentengsari, Cianjur.

### DAFTAR PUSTAKA

- Awazi, N.P., Alemagi, D., Ambebe, T.F. (2025). Promoting the carbon market in agroforestry systems: the role of global, national, and sectoral initiatives. *Discover Forests* 1. <https://doi.org/10.1007/s44415-025-00013-4>.
- Barman, S. et al. (2025). Long-term agroforestry enhances soil organic carbon pools and deep soil carbon sequestration in the Indian Himalayas. *Frontiers in Environmental Science* 13:1–13. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2025.1568564>.
- Basuki, B., Mandala, M. (2024). Penilaian Karbon Total Hutan Produksi Komoditas Pinus Berbagai Umur Di Formasi Geologi Merawan Kaki Gunung Gumitir. *Jurnal Agrotek Tropika* 12:689–699. <https://doi.org/10.23960/jat.v12i3.8098>.
- Cardinael, R., Cadisch, G., Dupraz, C., Lojka, B., Oelbermann, M. (2025). Guidelines for improved quantification and reporting of carbon stocks and additional carbon storage in agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 99:1–13. <https://doi.org/10.1007/s10457-025-01184-x>.

- Darlina, I., Wilujeng, S., Nurmajid, F. (2023). Estimasi Cadangan Karbon Dan Serapan Karbon Di Taman Maluku Kota Bandung. *Paspalum: Jurnal Ilmiah Pertanian* 11:163. <https://doi.org/10.35138/paspalum.v11i1.556>.
- Dicky, D., Paembonan, S.A., Mukrimin, M., Millang, S., Witno, W., Makkasau, A.R., Arty, B., Ramadhan, W., Rasyid, A. (2025). Comparison of carbon storage and oxygen release in various land uses in North Luwu District, South Sulawesi Province, Indonesia. *Biodiversitas* 26:2754–2761. <http://dx.doi.org/10.13057/biodiv/d260620>.
- Farahisah, H., Yulianda, F., Effendi, H. (2021). Struktur Komunitas, Cadangan Karbon, dan Estimasi Nilai Ekonomi Mangrove di Muara Sungai Musi. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia* 26:228–234. <https://doi.org/10.18343/jipi.26.2.228>.
- Febriansyah, A.R., Ergantara, R.I., Nasoetion, P. (2022). Daya Serap CO<sub>2</sub> Tanaman Pengisi Ruang Terbuka Hijau (RTH) Privat Rumah Besar Perumahan Springhill Dan Citra Mas Di Kelurahan Kemiling Permai. *Jurnal Rekayasa, Teknologi, dan Sains* 6:20–31. <https://doi.org/10.33024/jrets.v6i1.5862>.
- Ibrahim, A., Lukman, A.H. (2022). Carbon Stock in Tree Biomass in Forest-Agricultural Land Use in West Java (Case Study: Cijendil Village, Cianjur). *Ecodevelopment* 3:8–13. <https://doi.org/10.24198/ecodev.v3i1.39111>.
- Ivezić, V., Lorenz, K., Lal, R. (2022). Soil Organic Carbon in Alley Cropping Systems: A Meta-Analysis. *Sustainability (Switzerland)* 14. <https://doi.org/10.3390/su14031296>.
- Kabir, M., Habiba, U.E., Khan, W., Shah, A., Rahim, S., Rios-Escalante, P.R.D., Farooqi, Z.U.R., Ali, L. (2023). Climate change due to increasing concentration of carbon dioxide and its impacts on environment in 21st century; a mini review. *Journal of King Saud University - Science* 35:102693. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102693>.
- Kiran, K.K., Pal, S., Chand, P., Kandpal, A. (2023). Carbon sequestration potential of agroforestry systems in Indian agricultural landscape: A Meta-Analysis. *Ecosystem Services* 62:101537. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2023.101537>.
- Leunufna, M.A., Wattimena, C., Sahureka, M. (2023). Pola Tanam Agroforestry Dukung di Negeri Leahari Kecamatan Leitimur Selatan Kota Ambon. *Agricultural Engineering Innovation Journal* 1:139-149. <http://doi.org/10.55180/aei.v1i2.728>.
- Luo, S., Xu, L., Yu, J., Zhou, W., Yang, Z., Wang, S., Guo, C., Gao, Y., Xiao, J., & Shu, Q. (2023). Sampling Estimation and Optimization of Typical Forest Biomass Based on Sequential Gaussian Conditional Simulation. *Forests* 14:1792. <https://doi.org/10.3390/f14091792>.
- Maharjan, M., Ayer, S., Timilsina, S., Ghimire, P., Bhatta, S., Thapa, N., Timilsina, Y.P., Lama, S., Yadav, V.K., Okolo, C.C. (2024). Impact of agroforestry intervention on carbon stock and soil quality in the mid-hills of Nepal. *Soil Security* 16:100164. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2024.100164>.

- Nair, P.K.R., Kumar, B.M., Nair, V.D. (2022). Biological nitrogen fixation and nitrogen fixing trees. Page An Introduction to Agroforestry: Four Decades of Scientific Developments. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-75358-0>.
- Paradika, G.Y., Kissinger, K., Rezekiah, A.A. (2021). Pendugaan Cadangan Karbon Vegetasi Di Sempadan Sungai Pada Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Universitas Lambung Mangkurat. *Jurnal Sylva Scientiae* **4**:98. <https://doi.org/10.20527/jss.v4i1.3098>.
- Pertiwi, N., Tsusaka, T.W., Nguyen, T.P.L., Abe, I., Sasaki, N. (2022). Nature-based Carbon Pricing of Full Ecosystem Services for Peatland Conservation—A Case Study in Riau Province, Indonesia. *Nature-Based Solutions* **2**:100023. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100023>.
- Putra, G.M., Utama, P.B., Suryatmojo, H., Kusumandari, A.K. (2023). Potensi Jasa Lingkungan Penyerap Karbon dan Penyedia Oksigen Hutan Lindung Mangunan, Yogyakarta. *Dampak* **20**:49–54. <https://doi.org/10.25077/dampak.20.2.49-53.2023>.
- Rahawarin, M.F., Irwanto, I., Hadijah, M. (2025). Biomassa Tumbuhan Bawah Pada Berbagai Tipe Hutan Alam Di Negeri Hatusua. Provinsi Maluku. *MARSEGU: Jurnal Sains dan Teknologi* **1**:1113–1128. <https://doi.org/10.69840/marsegu/1.11.2025.1113-1128>.
- Salviana, W., Idris, M.H., Aji, I.M.L. (2024). Analisis vegetasi dan potensi cadangan karbon pada Hutan Kemasyarakatan (HKM) Oi Rida Lestari Kabupaten Bima. *ULIN: Jurnal Hutan Tropis* **8**:137. <http://dx.doi.org/10.32522/ujht.v8i2.14767>.
- Sari, R., Maryam, Yusmah, R.A. (2023). Penentuan C-Organik Pada Tanah Untuk Meningkatkan Produktivitas Tanaman Dan Keberlanjutan Umur Tanaman Dengan Metoda Spektrofotometri Uv Vis. *Jurnal Teknologi Pertanian* **12**:11–19. <https://doi.org/10.32520/jtp.v12i1.2598>.
- Siagian, K., Karuniasa, M., Mizuno, K. (2024). The Estimation of Economic Valuation on Carbon Sequestration of Agroforestry Land System. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan* **14**:231–240. <https://doi.org/10.29244/jpsl.14.2.231>.
- Suhag, M., Ahamed, T., Das, A.K., Rahman, M.A., Rahman, M.M., Miah, M.G. (2025). Leucaena-Based Alley Cropping System: An Approach for Reclaiming Degraded Land, Reducing the Use of Inorganic Nitrogen Fertilizer, and Improving Crop Productivity. *Nitrogen (Switzerland)* **6**. <https://doi.org/10.3390/nitrogen6020025>.
- Teo, H.C. et al. (2025). Reduction of deforestation by agroforestry in high carbon stock forests of Southeast Asia. *Nature Sustainability* **8**:358–362. <http://dx.doi.org/10.1038/s41893-025-01532-w>.
- Ulianata, D.H.P., Fithria, A., Peran, S.B. (2021). Estimasi Biomassa dan Cadangan karbon pada Hutan Rawa Galam (*Melaleuca leucadendron* Linn). *Jurnal Sylva Scientiae* **4**:712. <https://doi.org/10.20527/jss.v4i4.3949>.

Yolanda, R., Matius, P., Diana, R. (2024). Estimasi stok karbon di atas permukaan pada ekosistem mangrove di Salo Sumbala Muara Badak Kutai Kartanegara sebagai upaya mitigasi perubahan iklim. *Ulin Jurnal Hutan Tropis* **8**: 465–477. <https://doi.org/10.32522/ujht.v8i2.17389>.