

## POTENSI SIMPANAN KARBON TANAH DAN BIOMASSA VEGETASI DI EKOSISTEM KARST PATTUNUANG

Harlina<sup>1\*</sup>, Herawaty<sup>2</sup>, Akhmad Kurnia N<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Fakultas Pertanian, Universitas Indonesia Timur

<sup>2</sup>Fakultas Pertanian, Universitas Islam Makassar

\*Email : harlinayunus0@gmail.com

**ABSTRAK:** Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi simpanan karbon tanah dan biomassa vegetasi pada ekosistem karst di Pattunuang, serta menganalisis hubungan antara kondisi vegetasi dengan kandungan karbon tanah. Penelitian dilaksanakan pada bulan Juli 2025 di tiga tipe penutupan lahan, yaitu hutan karst primer (HR1), hutan sekunder (HR2), dan semak belukar (HR3). Setiap lokasi pengamatan dibuat plot berukuran 20 × 20 meter untuk analisis vegetasi dan pengambilan sampel tanah komposit pada kedalaman 0–30 cm. Hasil penelitian menunjukkan simpanan karbon vegetasi tertinggi terdapat pada HR1 sebesar 96,7 ton C/ha, diikuti HR2 sebesar 60,3 ton C/ha, dan HR3 24,8 ton C/ha. Kandungan karbon tanah menunjukkan pola yang sejalan, dengan nilai tertinggi pada hutan primer sebesar 26,1 ton C/ha, hutan sekunder 9,9 ton C/ha, dan semak belukar 4,5 ton C/ha. Hubungan antara biomassa vegetasi dan karbon tanah menunjukkan korelasi positif, di mana peningkatan tutupan vegetasi berkontribusi terhadap tingginya akumulasi bahan organik dalam tanah. Secara keseluruhan, total potensi simpanan karbon pada hutan karst primer mencapai 122,8 ton C/ha. Total potensi cadangan karbon mencapai lebih dari 5,3 juta ton C atau setara dengan 19,5 juta ton CO<sub>2</sub> yang tersimpan di dalam ekosistem. Hasil ini menunjukkan bahwa ekosistem karst Pattunuang memiliki peran penting sebagai penyerap karbon alami (carbon sink) serta mendukung upaya mitigasi perubahan iklim melalui pengelolaan dan pelestarian vegetasi alami.

**Kata Kunci:** karbon tanah, biomassa vegetasi, ekosistem karst, konservasi

## 1. PENDAHULUAN

Ekosistem karst memiliki peran ekologis penting dalam menyimpan karbon baik dalam bentuk biomassa vegetasi maupun bahan organik tanah (Widyastuti et al., 2021). Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung merupakan hutan yang terdiri atas hutan dan daratan yang memiliki ketinggian yang beragam dengan keunikan tersendiri karena merupakan peralihan dari dataran rendah ke dataran tinggi. Selain itu, sebagian tanah pada hutan ini adalah tanah karst, yaitu tanah yang mengandung batuan karbonat yang membentuk lahan kritis.

Ekosistem karst merupakan lanskap yang terbentuk dari pelarutan batuan karbonat seperti gamping dan dolomit, dan sering kali mendukung ekosistem unik dengan keanekaragaman hayati tinggi. Meskipun dikenal dengan tanah yang dangkal dan kondisi yang kurang subur, ekosistem karst berpotensi menyimpan karbon dalam jumlah yang signifikan, terutama melalui vegetasi alami dan bahan organik tanah yang terakumulasi dalam jangka waktu panjang (Widyastuti et al., 2021). Dalam konteks konservasi dan mitigasi perubahan iklim, pengukuran simpanan karbon pada ekosistem karst memiliki nilai strategis. Data ini penting untuk mendukung kebijakan pengelolaan berbasis jasa lingkungan seperti mekanisme REDD+ (Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation) yang mengutamakan pengurangan emisi karbon melalui perlindungan hutan (Angelsen, 2009). Oleh karena itu, penelitian ini diarahkan untuk mengukur potensi simpanan karbon baik dari biomassa vegetasi maupun lapisan tanah pada ekosistem karst Pattunuang yang masuk dalam kawasan Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung (TN Babul), sehingga dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam mendukung upaya konservasi dan penanggulangan perubahan iklim.

Kawasan konservasi TN Babul memiliki sistem karst tropis luas di Sulawesi Selatan. Sebagai kawasan konservasi dengan karakteristik karst tropis, TN Babul memiliki vegetasi hutan yang relatif masih alami dan tanah dengan akumulasi organik yang potensial (Rahmadani et al., 2020). Wilayah ini dikenal tidak hanya sebagai kawasan dengan nilai keanekaragaman hayati tinggi, tetapi juga sebagai daerah dengan struktur geologi unik dan tutupan vegetasi alami yang potensial

dalam menyimpan karbon. Namun, kajian dan informasi ilmiah yang mengukur besaran simpanan karbon pada ekosistem karst TN Babul, khususnya dari aspek biomassa vegetasi dan tanah, masih sangat terbatas.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam mendukung kebijakan mitigasi perubahan iklim berbasis ekosistem (Hairiah et al., 2001) serta memperkaya kajian ilmiah tentang peran kawasan konservasi dalam menyerap karbon atmosfer. Penelitian mengenai simpanan karbon pada ekosistem hutan telah banyak dilakukan di berbagai tipe ekosistem, termasuk hutan hujan tropis dan agroforestri (Hairiah et al., 2001; Brown, 1997). Namun, penelitian spesifik yang mengkaji secara terintegrasi antara simpanan karbon pada biomassa dan tanah di ekosistem karst tropis, khususnya di TN Babul, masih jarang ditemukan. Keunikan kawasan karst yang memiliki kondisi tanah dangkal, vegetasi spesifik, serta formasi geologi khas, menjadikan penelitian ini memiliki nilai kebaruan yang signifikan. Dengan demikian, penelitian ini memiliki kontribusi orisinal dalam pengukuran potensi simpanan karbon pada wilayah konservasi karst tropis, yang dapat menjadi dasar ilmiah untuk kebijakan konservasi berbasis data ekosistem lokal.

## **2. METODOLOGI PENELITIAN**

Penelitian dilaksanakan di kawasan TN Babul, yang terletak di area Pattunuang, berlangsung dari Juli hingga September 2025, mencakup tahap observasi, pengambilan sampel, analisis laboratorium, dan pengolahan data. Analisis sampel tanah dilakukan di Laboratorium Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin.

### **Populasi dan Sampel**

Penentuan letak plot pengukuran simpanan karbon dilakukan secara purposive sampling, dengan mempertimbangkan keseragaman jenis vegetasi dan representasi topografi karst dan heterogenitas vegetasi, dan ketersediaan lahan bertanah. Jumlah plot contoh sebanyak 12 plot dengan ukuran masing - masing plot 20 x 20m dengan sub plot 10 X 10, 5 X 5 m dan 2 x 2 m (Gambar 1). Kemudian pada masing-masing plot dilakukan pengukuran lingkaran batang pohon

setinggi dada (DBH) atau sekitar 1,3 m dari tanah (Manuri, Putra & Saputra, 2011). selain itu juga mengambil sampel tanah yang berada didekat titik plot sedalam 10 cm.

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif-deskriptif yang bertujuan untuk mengestimasi dan mendeskripsikan potensi simpanan karbon di ekosistem karst. Penelitian bersifat eksploratif-kuantitatif karena mengevaluasi stok karbon dalam dua komponen utama, yaitu biomassa vegetasi dan karbon tanah, melalui pengukuran lapangan dan analisis laboratorium (Sugiyono, 2019).

### **Variabel Penelitian**

Variabel utama yang dikaji dalam penelitian ini terdiri dari karbon biomassa vegetasi (ton/ha) merupakan taksiran jumlah karbon yang tersimpan dalam jaringan hidup pohon-pohon di kawasan hutan karst. Data ini dihitung melalui pengukuran diameter pohon dan perhitungan biomassa menggunakan persamaan alometrik, kemudian dikonversi ke kandungan karbon berdasarkan koefisien konversi standar (Brown, 1997; IPCC, 2006). Selain itu juga dikaji Karbon Organik tanah (ton/ha) merupakan kandungan karbon yang tersimpan dalam tanah pada kedalaman tertentu, yang dihitung berdasarkan kadar karbon organik, berat isi tanah, dan kedalaman sampel (Lal, 2005). Variabel pendukung yang turut diobservasi untuk menunjang interpretasi terhadap simpanan karbon meliputi: Jenis dan diameter pohon, sedangkan diameter batang diukur untuk menghitung biomassa menggunakan persamaan alometrik. Kedalaman sampel dan kepadatan tanah diukur untuk menentukan distribusi vertikal karbon dalam tanah, sedangkan kepadatan (berat isi tanah) digunakan untuk mengkonversi data kadar karbon organik ke satuan massa per hektar. Informasi jenis tanah dikumpulkan secara deskriptif untuk memahami konteks edafik (sifat-sifat tanah) yang mempengaruhi kapasitas penyimpanan karbon. Kondisi tanah karst umumnya dangkal dan berbatu, namun masih mampu menyimpan karbon organik dalam jumlah yang berarti (Rahmadani et al., 2020).

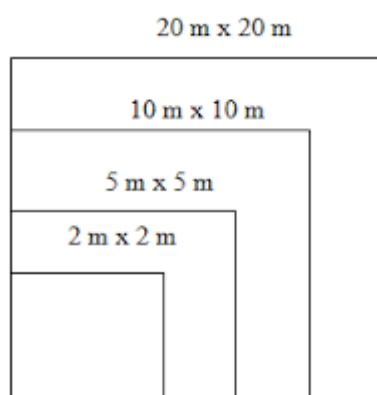
### **Alat dan Bahan**

Berikut adalah daftar alat yang digunakan dalam penelitian ini, diantaranya cacahan meteran (measuring tape), Caliper, Clinometer atau Suunto, GPS, tali

rapiah, papan nama pohon, Auger tanah (Bor tanah), ring sampel tanah, kantong plastik, timbangan analitik, spatula, oven pengering tanah. Sedangkan bahan yang digunakan yaitu Larutan Kalium Dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ), Asam Sulfat ( $H_2SO_4$ ), Indikator ferroin, kertas data lapangan

### **Teknik Pengumpulan Data**

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui dua pendekatan utama, yaitu inventarisasi vegetasi untuk estimasi karbon biomassa, dan pengambilan sampel tanah untuk analisis karbon organik tanah. Kedua jenis data diperoleh melalui observasi lapangan dan didukung dengan analisis laboratorium. Inventarisasi vegetasi dilakukan dalam plot pengamatan berukuran  $20\text{ m} \times 20\text{ m}$  ( $400\text{ m}^2$ ), yang ditetapkan secara purposif di lokasi yang merepresentasikan kondisi khas ekosistem karst, seperti puncak bukit, lereng, dan lembah.



Gambar 1. Model plot dalam pengambilan sampel analisis vegetasi

Pada setiap plot, dilakukan pengukuran terhadap semua pohon hidup dengan diameter batang  $\geq 10\text{ cm}$  pada ketinggian 1,3 m (DBH). Data yang dicatat mencakup:

- Jenis pohon: diidentifikasi secara visual di lapangan dan/atau dengan bantuan pustaka identifikasi (flora lokal).
- Diameter batang (DBH): diukur menggunakan pita ukur (diameter tape) pada titik setinggi dada (1,3 m dari permukaan tanah).
- Tinggi pohon: diukur dengan alat bantu seperti hypsometer, clinometer, atau dengan metode visual dan perhitungan trigonometri sederhana.

Data diameter dan tinggi pohon digunakan untuk menghitung biomassa pohon dengan menerapkan persamaan alometrik. Dalam penelitian ini digunakan rumus dari Brown (1997) untuk kawasan hutan tropis:

$$\text{Biomassa (kg)} = 0,11 \times D^{2,62} \quad \text{Biomassa (kg)} = 0,11 \times D^{2,62}$$

Nilai biomassa pohon tersebut kemudian dikonversi menjadi simpanan karbon menggunakan faktor konversi 0,5, berdasarkan asumsi bahwa setengah dari biomassa kering pohon terdiri atas karbon (IPCC, 2006). Untuk menyusun estimasi karbon per hektar, nilai karbon setiap pohon dijumlahkan per plot, lalu diekstrapolasi ke satuan ton/ha.

### **Pengumpulan Data Karbon Tanah**

Pengambilan sampel dilakukan pada tiga lapisan kedalaman: 0–10 cm; 10–20 cm; 20–30 cm. Sampel diambil menggunakan bor tanah (soil auger), kemudian ditempatkan dalam kantong plastik bersih dan diberi label sesuai kedalaman dan lokasi. Selain sampel tanah untuk analisis kimia, diambil juga sampel menggunakan cincin tanah (soil ring sampler) untuk mengukur berat isi tanah (bulk density). Bobot isi tanah diperlukan untuk menghitung total karbon tanah dalam satuan massa. Setiap sampel tanah dianalisis di laboratorium untuk:

- a) Kadar karbon organik (% C), dengan metode Walkley & Black (1934) yang melibatkan oksidasi bahan organik oleh larutan kalium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) dan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ).
- b) Berat isi tanah ( $g/cm^3$ ), dihitung dari massa tanah kering dibagi dengan volume ring sampel.

Data tersebut kemudian digunakan untuk menghitung cadangan karbon tanah dengan rumus berikut (Hairiah et al., 2001):

$$C \text{ tanah} = C\text{-organik} \times \rho \times d$$

Keterangan:

C-organik = kadar karbon organik tanah (%)

$\rho$  = berat isi tanah ( $g/cm^3$ )

d = kedalaman lapisan (cm)

Nilai ini dikonversi ke satuan ton C per hektar (ton/ha) agar dapat dijumlahkan dengan simpanan karbon dari biomassa vegetasi.

## Analisis Data

Data hasil pengukuran dianalisis secara deskriptif-kuantitatif untuk memperoleh nilai rerata dan total simpanan karbon. Simpanan karbon vegetasi dihitung per plot, lalu diekstrapolasi ke skala hektar. Simpanan karbon tanah dijumlahkan dari tiga lapisan kedalaman. Analisis statistik deskriptif meliputi: Rerata (mean), Simpangan baku (standard deviation), Total simpanan karbon (vegetasi + tanah) (Tabel 3.1).

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan di tiga titik lokasi (HR1 – hutan primer karst, HR2 – hutan sekunder, HR3 – semak belukar) menunjukkan perbedaan struktur vegetasi dan kondisi tanah yang mencerminkan variasi ekologis ekosistem karst dan disajikan pada tabel berikut.

Tabel 1. Kandungan C-Organik dan Estimasi Simpanan Karbon Tanah

Lokasi	C-Organik (%)	Berat Isi Tanah (g/cm <sup>3</sup> )	Kedalaman (cm)	Simpanan Karbon Tanah (ton/ha)
HR1 – Hutan primer karst	0.92	1.3	30	26.1
HR2 – Hutan sekunder	0.35	1.3	30	9.9
HR3 – Semak belukar	0.16	1.3	30	4.5

Nilai karbon tanah tertinggi ditemukan pada HR1 (26,1 ton C/ha), yang menunjukkan tingginya kandungan bahan organik akibat akumulasi serasah dan aktivitas biota tanah pada hutan yang masih tertutup rapat. Sementara itu, pada HR3, kadar C-organik rendah akibat rendahnya input serasah, terbatasnya pelapukan akar, dan intensitas erosi yang tinggi di permukaan berbatu. Secara umum, perbedaan kandungan karbon tanah ini menunjukkan hubungan erat antara tingkat kerapatan vegetasi, stabilitas tanah, dan ketersediaan bahan organik. Menurut Hairiah et al. (2001), kandungan C-organik yang tinggi merupakan indikator stabilitas ekosistem dan efisiensi siklus karbon di dalam tanah.

Hasil analisis laboratorium menunjukkan bahwa kadar karbon organik tanah (%C-organik) di ekosistem karst Pattunuang bervariasi antara 0,16–0,92%. Nilai tertinggi ditemukan pada lokasi HR1 (0,92%), yang merupakan kawasan hutan karst primer dengan kondisi vegetasi masih alami dan tajuk pohon relatif rapat. Kandungan karbon yang tinggi pada lokasi ini mengindikasikan tingginya akumulasi bahan organik tanah, baik yang berasal dari serasah daun, akar halus, maupun eksudat mikroorganisme tanah. Penutupan tajuk yang baik juga menurunkan laju erosi dan menjaga kelembapan tanah, sehingga proses dekomposisi bahan organik dapat berlangsung lebih stabil. Kondisi ini sesuai dengan pendapat Lal (2005) dan Hairiah et al. (2001) bahwa ekosistem dengan tutupan vegetasi tinggi cenderung memiliki kandungan karbon tanah yang lebih besar karena pasokan serasah yang kontinu dan aktivitas biota tanah yang lebih aktif. Sementara itu, lokasi HR2 (hutan sekunder) menunjukkan penurunan kadar C-organik menjadi 0,35%, yang mencerminkan kondisi vegetasi yang telah mengalami gangguan sedang. Penurunan ini diduga disebabkan oleh rendahnya input bahan organik dari vegetasi, serta meningkatnya eksposur tanah terhadap sinar matahari dan erosi permukaan akibat kerapatan tajuk yang berkurang. Hal ini sesuai dengan temuan Rahmadani et al. (2020) di kawasan karst Sulawesi Selatan, yang menunjukkan bahwa perbedaan tingkat tutupan lahan sangat memengaruhi kandungan karbon organik tanah.

Adapun lokasi HR3 (semak belukar) memiliki kadar C-organik paling rendah (0,16%) dengan nilai simpanan karbon hanya 4,5 ton C/ha. Kondisi ini mencerminkan tingkat degradasi vegetasi yang tinggi, di mana tanah cenderung dangkal, berbatu, dan minim input bahan organik. Vegetasi pada area ini didominasi oleh semak dan tumbuhan pionir yang memiliki biomassa rendah dan daur serasah cepat terdekomposisi. Akibatnya, kontribusi bahan organik terhadap akumulasi karbon tanah menjadi sangat terbatas. Selain itu, keberadaan kerikil dan batuan kapur pada lapisan tanah atas mempercepat aliran air dan mengurangi kemampuan tanah menyimpan bahan organik. Secara umum, kandungan karbon organik tanah di ekosistem karst TN Babul tergolong rendah hingga sedang, namun tetap memiliki signifikansi ekologis yang penting. Hal ini

karena tanah karst secara alami memiliki kedalaman terbatas dan kapasitas penyerapan bahan organik yang rendah, sehingga nilai C-organik di bawah 1% masih tergolong potensial untuk mendukung siklus karbon. Peran vegetasi menjadi sangat penting dalam mempertahankan cadangan karbon tanah melalui suplai serasah dan akar halus. Hasil penelitian ini menunjukkan adanya hubungan erat antara struktur vegetasi, tingkat kerapatan tajuk, dan kandungan karbon tanah. Hutan primer dengan tajuk rapat berfungsi sebagai penyerap karbon yang efisien, sementara area terbuka atau semak menunjukkan kehilangan karbon akibat degradasi dan rendahnya input bahan organik. Dengan demikian, upaya konservasi vegetasi alami di kawasan karst Pattunuang sangat krusial, tidak hanya untuk menjaga keanekaragaman hayati, tetapi juga untuk mempertahankan fungsi ekologis tanah sebagai penyimpan karbon jangka panjang dalam sistem karst tropis.

### **Biomassa dan Simpanan Karbon Vegetasi**

Hasil inventarisasi vegetasi pada tiga plot pengamatan menunjukkan variasi signifikan pada total biomassa dan karbon vegetasi antar lokasi dan disajikan dalam tabel berikut :

Tabel 2. Estimasi Biomassa dan Simpanan Karbon Vegetasi

<b>Lokasi</b>	<b>Biomassa Total (ton/ha)</b>	<b>Fraksi Karbon (%)</b>	<b>Simpanan Karbon Vegetasi (ton C/ha)</b>	<b>Dominasi Jenis Vegetasi</b>
HR1 – Hutan primer karst	205.8	47	96.7	<i>Ficus benjamina, Diospyros celebica, Palaquium obovatum</i>
HR2 – Hutan sekunder	128.4	47	60.3	<i>Albizia lebbeck, Swietenia macrophylla</i>
HR3 – Semak belukar	52.7	47	24.8	<i>Macaranga tanarius, Melastoma malabathricum</i>

Nilai biomassa dan karbon vegetasi tertinggi ditemukan pada HR1 (96,7 ton C/ha), yang didukung oleh keberadaan pohon berdiameter besar dan struktur tajuk rapat. Sebaliknya, HR3 menunjukkan nilai biomassa dan karbon yang rendah akibat dominasi semak dan vegetasi pionir dengan pertumbuhan relatif cepat namun massa kayu rendah. Hasil ini sejalan dengan penelitian Widyastuti et

al. (2021) di kawasan karst Gunung Kidul dan Rahmadani et al. (2020) di Sulawesi Selatan, yang menyebutkan bahwa biomassa dan stok karbon vegetasi sangat dipengaruhi oleh tingkat suksesi hutan dan kerapatan pohon.

Hasil pengukuran biomassa dan karbon vegetasi pada tiga tipe penutupan lahan menunjukkan variasi yang jelas antar lokasi pengamatan. Nilai biomassa dan simpanan karbon vegetasi tertinggi ditemukan pada HR1 (hutan karst primer), dengan total simpanan karbon mencapai 96,7 ton C/ha. Lokasi ini didominasi oleh pohon berdiameter besar dengan tajuk rapat, seperti *Ficus benjamina*, *Diospyros celebica*, dan *Palaquium obovatum*. Kondisi tersebut mencerminkan struktur hutan yang masih utuh dan matang secara ekologis, dengan tingkat produktivitas biomassa tinggi. Vegetasi berdiameter besar berkontribusi signifikan terhadap total simpanan karbon karena jaringan kayunya mengandung karbon dalam proporsi tinggi. Menurut Brown (1997) dan IPCC (2006), biomassa pohon berkorelasi positif dengan diameter batang dan tinggi pohon, sehingga semakin besar dimensi pohon, semakin besar pula karbon yang tersimpan dalam jaringan hidupnya. Dengan demikian, HR1 dapat dikategorikan sebagai area dengan fungsi ekologis paling penting dalam menyerap dan menyimpan karbon atmosfer di ekosistem karst Pattunuang.

Pada HR2 (hutan sekunder), nilai simpanan karbon menurun menjadi 60,3 ton C/ha. Vegetasi di lokasi ini terdiri atas campuran antara pohon cepat tumbuh (*fast-growing species*) seperti *Albizia lebeck* dan *Acacia auriculiformis*, serta jenis regeneratif alami seperti *Ficus septica* dan *Macaranga tanarius*. Struktur tajuknya tidak sepadat HR1, dan ditemukan lebih banyak ruang terbuka di antara tegakan. Kondisi ini menunjukkan fase suksesi menengah, di mana hutan sedang dalam proses pemulihan alami pasca gangguan (seperti penebangan selektif atau pembukaan lahan masa lalu). Walaupun produktivitas biomassa di HR2 lebih rendah dibandingkan HR1, keberadaan spesies pionir berperan penting dalam mempercepat pemulihan ekosistem melalui peningkatan serasah dan perlindungan tanah terhadap erosi. Hasil ini sejalan dengan temuan Rahmadani et al. (2020) di kawasan karst Sulawesi Selatan yang menunjukkan bahwa hutan

sekunder tetap memiliki kontribusi besar dalam menyimpan karbon karena aktivitas fotosintesis yang tinggi pada pohon cepat tumbuh.

Sementara itu, HR3 (semak belukar) menunjukkan nilai biomassa dan karbon vegetasi paling rendah, yakni 24,8 ton C/ha. Area ini didominasi oleh vegetasi pionir dan semak, seperti *Melastoma malabathricum*, *Macaranga tanarius*, dan *Chromolaena odorata*, dengan tinggi rata-rata vegetasi 3–8 meter dan diameter batang kecil (<20 cm). Komunitas vegetasi ini menggambarkan fase awal suksesi, di mana proses pembentukan biomassa masih berlangsung dan akumulasi karbon masih terbatas. Rendahnya biomassa pada HR3 juga dipengaruhi oleh tajuk yang terbuka, lapisan tanah tipis, serta keterbatasan air dan unsur hara akibat dominasi batuan kapur di permukaan. Meskipun demikian, keberadaan vegetasi pionir di HR3 tetap memiliki nilai ekologis penting sebagai pelindung awal tanah karst, yang mencegah erosi dan memfasilitasi pembentukan lapisan tanah organik baru yang nantinya mendukung suksesi lebih lanjut. Secara keseluruhan, pola peningkatan simpanan karbon dari HR3 → HR2 → HR1 menunjukkan gradasi ekologis yang mencerminkan tingkat kematangan ekosistem karst. Hutan primer berfungsi sebagai penyerap karbon utama (carbon sink), hutan sekunder berperan dalam pemulihan stok karbon, dan semak belukar berperan sebagai tahap awal dalam regenerasi ekosistem. Dengan demikian, keberlanjutan tutupan vegetasi di TN Babul menjadi faktor kunci dalam mempertahankan fungsi ekologis kawasan karst sebagai penyimpan karbon alami. Upaya perlindungan dan restorasi vegetasi karst perlu dilakukan secara berkelanjutan untuk memastikan proses suksesi berjalan optimal dan potensi karbon tersimpan dapat terus meningkat dari waktu ke waktu.

### **Total Simpanan Karbon Ekosistem Karst Pattunuang**

Integrasi antara karbon tanah dan karbon vegetasi menghasilkan estimasi total simpanan karbon ekosistem sebagaimana disajikan pada tabel berikut.

Tabel 3. Total Simpanan Karbon Ekosistem (Tanah + Vegetasi)

<b>Lokasi</b>	<b>Karbon Vegetasi (ton/ha)</b>	<b>Karbon Tanah (ton/ha)</b>	<b>Total Simpanan Karbon (ton/ha)</b>
HR1 – Hutan primer karst	96.7	26.1	122.8

HR2 – Hutan sekunder	60.3	9.9	70.2
HR3 – Semak belukar	24.8	4.5	29.3

Total simpanan karbon tertinggi terdapat pada hutan primer karst (122,8 ton C/ha), diikuti oleh hutan sekunder (70,2 ton C/ha), dan semak belukar (29,3 ton C/ha). Perbedaan ini menegaskan bahwa struktur dan kerapatan vegetasi menjadi faktor utama dalam menentukan kapasitas penyimpanan karbon di ekosistem karst. Selain itu, kontribusi karbon tanah terhadap total karbon ekosistem berkisar antara 9–21%, menunjukkan bahwa meskipun porsi terbesar berasal dari vegetasi, tanah tetap berperan penting sebagai penyimpan karbon jangka panjang.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat keterkaitan yang erat antara simpanan karbon vegetasi dan kandungan karbon organik tanah pada setiap tipe penutupan lahan yang diamati (HR1, HR2, dan HR3). Secara umum, lokasi dengan biomassa vegetasi yang tinggi juga menunjukkan kandungan karbon tanah yang lebih besar, dan sebaliknya. Hubungan ini mencerminkan adanya proses ekologis yang saling bergantung antara komponen biotik (vegetasi) dan abiotik (tanah) dalam mempertahankan keseimbangan siklus karbon di ekosistem karst.

Pada plot HR1 (hutan karst primer), total simpanan karbon vegetasi mencapai 96,7 ton C/ha, dengan karbon tanah sebesar 26,1 ton C/ha. Kombinasi keduanya menghasilkan total potensi simpanan karbon ekosistem sekitar 122,8 ton C/ha. Nilai ini mencerminkan fungsi ekologis hutan karst primer sebagai penyerap karbon utama (carbon sink). Struktur tajuk yang rapat, keanekaragaman jenis pohon tinggi, serta aktivitas mikroorganisme tanah yang stabil berkontribusi terhadap proses akumulasi karbon yang berkelanjutan. Daun, ranting, dan akar yang gugur menjadi serasah, mengalami dekomposisi oleh biota tanah, lalu membentuk bahan organik yang memperkaya kandungan karbon tanah. Mekanisme ini menggambarkan aliran karbon vertikal dari vegetasi ke tanah, yang merupakan ciri khas ekosistem hutan alami.

Sebaliknya, pada HR2 (hutan sekunder), simpanan karbon vegetasi menurun menjadi 60,3 ton C/ha, dengan karbon tanah sebesar 9,9 ton C/ha. Penurunan ini menunjukkan bahwa pemulihan tutupan vegetasi dan sistem akar yang belum sepenuhnya berkembang berimplikasi langsung terhadap rendahnya input bahan organik ke dalam tanah. Walaupun produktivitas fotosintetik pohon cepat tumbuh tinggi, kontribusinya terhadap pembentukan karbon tanah masih terbatas karena dekomposisi bahan organik lebih cepat daripada akumulasinya. Namun demikian, kondisi HR2 tetap menunjukkan potensi suksesi ekologis yang positif, di mana peningkatan kerapatan vegetasi akan berpengaruh terhadap peningkatan bertahap simpanan karbon tanah.

Adapun HR3 (semak belukar) memiliki nilai karbon vegetasi terendah, yaitu 24,8 ton C/ha, dan karbon tanah sebesar 4,5 ton C/ha. Rendahnya kedua komponen ini menunjukkan kondisi ekosistem yang belum stabil dan berada pada fase awal suksesi, dengan dominasi vegetasi pionir yang memiliki biomassa kecil serta serasah yang cepat terdekomposisi. Proses pengisian cadangan karbon tanah berjalan lambat karena lapisan tanah dangkal, berbatu, dan minim penutupan tajuk. Kondisi ini menunjukkan keterbatasan ekosistem karst dalam menyimpan karbon apabila terjadi degradasi vegetasi secara terus-menerus.

Hubungan positif antara karbon vegetasi dan karbon tanah ini mendukung pandangan Lal (2005) dan Hairiah et al. (2011) bahwa produktivitas biomassa dan kandungan bahan organik tanah merupakan dua komponen kunci dalam sistem penyerapan karbon ekosistem hutan tropis. Vegetasi berperan sebagai sumber karbon aktif melalui proses fotosintesis, sementara tanah berfungsi sebagai penyimpan karbon jangka panjang (carbon pool) yang menstabilkan unsur hara dan menjaga kesuburan ekosistem. Dalam konteks lanskap karst, hubungan ini menjadi lebih kompleks karena keterbatasan ketebalan tanah, porositas tinggi, dan batuan dasar kapur yang memengaruhi retensi bahan organik.

Dengan demikian, hasil penelitian ini menegaskan bahwa keseimbangan antara biomassa vegetasi dan kualitas tanah merupakan faktor penentu utama dalam mempertahankan fungsi ekologis ekosistem karst. Peningkatan tutupan vegetasi, terutama melalui konservasi hutan primer dan rehabilitasi hutan

sekunder, akan memberikan dampak ganda: meningkatkan penyerapan karbon atmosfer melalui pertumbuhan vegetasi sekaligus memperkaya cadangan karbon dalam tanah melalui serasah dan dekomposisi akar. Oleh karena itu, strategi pengelolaan kawasan karst di Pattunuang sebaiknya diarahkan pada perlindungan vegetasi alami, pembatasan aktivitas ekstraktif, dan penerapan restorasi vegetasi berbasis jenis lokal agar potensi karbon ekosistem dapat dipertahankan secara berkelanjutan. Secara umum, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ekosistem karst Pattunuang memiliki fungsi ekologis signifikan dalam mitigasi perubahan iklim melalui kemampuan menyimpan karbon pada dua komponen utama, yaitu vegetasi dan tanah.

#### **4. KESIMPULAN**

Simpanan karbon vegetasi bervariasi menurut tipe penutupan lahan. Nilai tertinggi ditemukan pada hutan karst primer (HR1) dengan total karbon sebesar 96,7 ton C/ha, diikuti oleh hutan sekunder (HR2) sebesar 60,3 ton C/ha, dan semak belukar (HR3) sebesar 24,8 ton C/ha. Variasi ini berkaitan erat dengan struktur tegakan, diameter batang, dan kerapatan tajuk. Vegetasi berdiameter besar dan tajuk rapat pada HR1 menunjukkan kemampuan lebih besar dalam menyerap dan menyimpan karbon melalui akumulasi biomassa hidup.

Kandungan karbon organik tanah menunjukkan pola yang sejalan dengan kondisi vegetasi. Nilai tertinggi tercatat pada hutan primer (0,92% C-organik; 26,1 ton C/ha), diikuti oleh hutan sekunder (0,35%; 9,9 ton C/ha), dan semak belukar (0,16%; 4,5 ton C/ha). Tingginya kadar C-organik pada HR1 menunjukkan kontribusi kuat dari input serasah, akar halus, dan aktivitas mikroorganisme tanah di bawah tajuk rapat, sedangkan rendahnya kadar karbon tanah pada HR3 disebabkan oleh degradasi vegetasi dan minimnya input bahan organik.

Terdapat hubungan ekologis yang erat antara biomassa vegetasi dan karbon tanah. Lokasi dengan biomassa vegetasi tinggi juga memiliki karbon tanah yang tinggi, menunjukkan adanya sirkulasi karbon yang aktif antara lapisan vegetasi dan tanah. Vegetasi berperan sebagai penyedia bahan organik utama melalui serasah dan akar, sedangkan tanah berfungsi sebagai penyimpan karbon

jangka panjang. Hubungan ini menegaskan peran penting vegetasi dalam mempertahankan stabilitas karbon ekosistem karst.

Faktor topografi turut memengaruhi distribusi karbon. Area lembah dan lereng bawah cenderung memiliki akumulasi bahan organik dan kelembapan lebih tinggi, sehingga simpanan karbon tanah lebih besar dibandingkan area puncak atau lereng berbatu. Kondisi mikro-topografi karst yang tidak rata berperan penting dalam menentukan kapasitas retensi bahan organik dan kelembapan tanah (Suprayogo et al., 2019).

Ekosistem karst Pattunuang berperan sebagai penyerap karbon alami (carbon sink). Dengan total simpanan karbon pada hutan primer mencapai 122,8 ton C/ha, dan luas kawasan karst sekitar ±43.750 hektar, maka potensi total cadangan karbon mencapai lebih dari 5,3 juta ton C, ekuivalen dengan 19,5 juta ton CO<sub>2</sub> tersimpan di dalam ekosistem. Angka ini menunjukkan kontribusi signifikan kawasan karst TN Babul terhadap upaya mitigasi perubahan iklim dan pencapaian target nasional FOLU Net Sink 2030.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Angelsen, A. (2009). *Realising REDD+: National Strategy and Policy Options*. CIFOR.
- Griffiths, R. P., Madritch, M. D., & Swanson, A. K. (2016). The effects of topography on forest soil characteristics in the Oregon Cascade Mountains. *Forest Ecology and Management*, 249 (1–2), 50–60.
- Griscom, B. W., et al. (2017). Natural climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(44), 11645–11650.
- Hairiah, K., Sitompul, S. M., van Noordwijk, M., & Palm, C. (2001). *Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Macam Penggunaan Lahan*. ICRAF.
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- KLHK. (2022). *Indonesia's FOLU Net Sink 2030: Strategi Indonesia dalam Pengendalian Perubahan Iklim di Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia.

- Lal, R. (2018). Digging deeper: Soil science in the service of humanity. *Soil Science Society of America Journal*, 82(1), 1–21.
- Li, Y., Shao, M. A., & Yang, J. (2019). Effects of topography on soil organic carbon and total nitrogen storage in a degraded small watershed of the Loess Plateau, China. *Soil and Tillage Research*, 185, 1–9.
- Rahmadani, F., Mulyadi, D., & Yusuf, M. (2020). Vegetasi kawasan karst dan potensinya menyimpan karbon. *Jurnal Hutan Tropis*, 8(2), 132–142.
- Suprayogo, D., Las, I., & Syamsuddin, T. (2019). Karakteristik kandungan karbon organik tanah di bentang lahan karst tropis. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 43(1), 1–9.
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29–38.
- Wang, S., Liu, Q., Zhang, C., Wang, X., & Li, J. (2020). Biomass carbon stocks of secondary forests in karst regions: A case study from Southwest China. *Forests*, 11(5), 521.
- Widyastuti, S. M., Sari, R. K., & Arifin, A. (2021). Karakteristik tanah dan vegetasi pada kawasan karst tropis. *Jurnal Konservasi Alam Tropika*, 18(1), 35–45.
- Xu, X., Luo, Y., Zhou, J., & Wan, S. (2015). Evidence for a differential sensitivity of carbon cycle processes to temperature in karst ecosystems. *Global Change Biology*, 21(12), 4428–4441.
- Zhao, Y., Tang, Z., Fang, J., & Gundersen, P. (2016). Relationships between biomass and plant diversity in mountain forests of China. *Forest Ecology and Management*, 372, 80–92.
- Zhou, C., Gong, Y., Liu, Y., & Wang, K. (2020). The effect of land-use changes on soil carbon stocks in karst areas of Southwest China. *Land Degradation & Development*, 31(4), 481–491.