

**STUDI PERBANDINGAN HASIL PERHITUNGAN PENGUKURAN C-STOK
ANTARA PENGAMBILAN SAMPEL DESTRUKTIF DAN NON-DESTRUKTIF
PADA TUMBUHAN SAGU DI TULEHU**

**COMPARATIVE STUDY OF CARBON STOCK MEASUREMENT RESULTS
BETWEEN DESTRUCTIVE AND NON-DESTRUCTIVE SAMPLING
OF SAGO PALMS IN TULEHU**

Sehat Souwakil¹, Gun Mardiatmoko^{2*}, Jan W. Hatulesila³

^{1,2,3} Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian Universitas Pattimura Ambon
Jalan. Ir. M. Putuhena, Kampus Poka – Ambon, 97233

*Email Korespondensi: gmardiatmoko@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil perhitungan cadangan karbon (C-stock) tanaman sagu dengan menggunakan metode destruktif dan non-destruktif, serta mengetahui besarnya rendemen pati sagu (*Metroxylon sagu.*) di Desa Tulehu, Kecamatan Salahutu, Kabupaten Maluku Tengah. Penelitian dilakukan terhadap lima pohon sagu yang dipilih berdasarkan variasi ukuran dan fase pertumbuhan, dengan teknik purposive sampling. Metode destruktif dilakukan melalui penebangan dan penimbangan biomassa aktual, sedangkan metode non-destruktif menggunakan persamaan alometrik dengan parameter diameter, tinggi pohon, dan berat jenis kayu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode destruktif menghasilkan cadangan karbon rata-rata sebesar 0,31 ton per pohon, sedangkan metode non-destruktif hanya 0,14 ton per pohon, dengan rata-rata selisih 0,17 dan Deviasi 61,34%. Hal ini menegaskan bahwa metode non-destruktif cenderung mengestimasi lebih rendah dibandingkan nilai aktual, sehingga metode destruktif tetap lebih akurat dan dapat dijadikan dasar validasi. Estimasi rendemen pati menunjukkan bahwa satu pohon sagu dewasa dengan berat empulur basah 928 kg berpotensi menghasilkan 120,64–148,48 kg pati kering dan rendemen sebesar 13%-16%.

Kata Kunci : Sagu, C-stock, destruktif, non-destruktif, rendemen pati

ABSTRACT

This study aims to compare the results of carbon stock (C-stock) calculations in sago palms using destructive and non-destructive methods, as well as to determine the starch yield of sago palms (*Metroxylon sagu.*) in Tulehu Village, Salahutu District, Central Maluku Regency. The study was conducted on five sago palms selected based on their size and growth phase, using a purposive sampling technique. The destructive method involved felling and weighing the actual biomass, while the non-destructive method used an allometric equation with parameters such as diameter, tree height, and wood specific gravity. The results showed that the destructive method produced an average carbon stock of 0.31 tons per tree, while the non-destructive method only produced 0.14 tons per tree, with an average difference of 0.17 and a deviation of 61.34%. This confirms that the non-destructive method tends to underestimate the actual value, so the destructive method remains more accurate and can be used as a basis for validation. Estimation of starch yield shows that one mature sago palm with a wet pith weight of 928 kg has the potential to produce 120.64–148.48 kg of dry starch and a yield of 13%–16%.

Keywords: Sago, C-stock, destructive, non-destructive, starch yield

PENDAHULUAN

Tanaman sagu (*Metroxylon sagu* Rottb.) merupakan komoditas lokal strategis yang memiliki nilai ekologis, sosial, dan ekonomi tinggi. Sebagai tanaman endemik daerah tropis basah, sagu tumbuh alami pada lahan marginal seperti rawa, dataran rendah, dan kawasan pesisir tergenang. Di

Indonesia bagian timur, khususnya Maluku, Papua, dan Sulawesi, sagu berperan penting sebagai sumber pangan utama masyarakat. Kandungan pati yang tinggi menjadikannya bahan pangan potensial untuk mendukung ketahanan pangan nasional di tengah ancaman krisis pangan global.

Selain fungsi ekonominya, sagu juga berperan penting secara ekologis karena mampu menyimpan karbon dalam jumlah besar. Biomassa pada batang sagu berfungsi sebagai penyerap dan penyimpan karbon (C-stock) yang berkontribusi terhadap mitigasi perubahan iklim. Menurut CIFOR-ICRAF (2016), ekosistem hutan sagu di Indonesia memiliki potensi besar sebagai penyerap karbon alami, namun belum dimanfaatkan secara optimal dalam skema konservasi seperti REDD+ (Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation). Oleh karena itu, pemetaan dan pengukuran cadangan karbon dari vegetasi sagu menjadi langkah penting dalam mendukung upaya mitigasi perubahan iklim.

Salah satu wilayah potensial penghasil sagu di Maluku adalah Tulehu, Kecamatan Salahutu, Kabupaten Maluku Tengah. Masyarakat setempat telah lama memanfaatkan sagu secara turun-temurun baik untuk konsumsi maupun sumber pendapatan. Terdapat tiga jenis utama yang tumbuh di wilayah ini, yaitu sagu tuni (*Metroxylon rumphii* Mart), sagu ihur (*Metroxylon sylvestre* Mart), dan sagu molat (*Metroxylon sagu* Rottb.). Jenis sagu tuni menjadi dominan karena memiliki batang besar, kandungan pati tinggi, serta siklus panen yang lebih cepat. Kondisi geografis Tulehu berupa rawa dan dataran rendah dengan genangan musiman menciptakan habitat yang ideal bagi pertumbuhan sagu, baik secara alami maupun semi-budidaya, menjadikan kawasan ini salah satu sentra sagu potensial di Maluku Tengah.

Dalam pengukuran cadangan karbon, terdapat dua pendekatan utama, yaitu metode destruktif dan non-destruktif. Menurut Hairiah et al. (2001), metode destruktif dilakukan dengan menebang tanaman untuk menimbang biomassa secara langsung, sedangkan metode non-destruktif memanfaatkan parameter morfometrik seperti diameter dan tinggi pohon, yang kemudian dihitung menggunakan persamaan alometrik. Krisnawati et al. (2012) menunjukkan bahwa metode non-destruktif dapat memberikan estimasi yang cukup akurat jika didukung model alometrik yang sesuai jenis tanaman dan kondisi lokasi.

Namun, Ketterings et al. (2001) mencatat bahwa metode non-destruktif cenderung memiliki deviasi lebih tinggi dibanding metode destruktif, terutama pada tanaman dengan bentuk batang tidak seragam. Pada sagu, batang justru berbentuk silindris dan relatif seragam, sehingga memudahkan estimasi volume dan biomassa serta meningkatkan keakuratan perhitungan karbon. Oleh karena itu, perbandingan hasil pengukuran cadangan karbon menggunakan kedua metode tersebut pada tanaman sagu perlu dilakukan untuk menilai sejauh mana hasil non-destruktif dapat mendekati akurasi metode destruktif.

Selain aspek ekologi, produktivitas ekonomi sagu dapat dinilai melalui rendemen pati, yaitu perbandingan antara berat pati kering terhadap berat basah batang. Nilai rendemen dipengaruhi oleh umur tanaman, kadar air, metode pengolahan, dan kondisi lingkungan. Pengukuran rendemen pada sampel yang sama dengan pengukuran C-stock memberikan gambaran hubungan antara potensi ekologi (penyimpanan karbon) dan nilai ekonomi (produktivitas pati).

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mendukung pengelolaan dan pemanfaatan sagu secara berkelanjutan. Tujuan penelitian adalah membandingkan hasil perhitungan cadangan karbon menggunakan metode destruktif dan non-destruktif serta mengukur rendemen pati dari sampel tanaman sagu di Kecamatan Salahutu, Kabupaten Maluku Tengah. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah dalam menentukan metode pengukuran C-stock yang efisien sekaligus memperkuat nilai strategis tanaman sagu sebagai komoditas pangan dan ekosistem penyimpan karbon di wilayah Maluku.

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Desa Tulehu, Kecamatan Salahutu Kabupaten Maluku Tengah. Penelitian ini dilakukan selama 1 bulan yang di mulai pada bulan Mei sampai dengan Juni 2025.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Populasi dan Sampel Penelitian

Populasi Penelitian

Populasi penelitian meliputi seluruh tanaman sagu tuni (*Metroxylon sagu* Rottb.) yang tumbuh alami maupun semi-budidaya di Desa Tulehu, Kecamatan Salahutu, Kabupaten Maluku Tengah. Jenis ini dipilih karena paling dominan, memiliki rendemen pati tinggi, serta struktur batang yang sesuai untuk pengukuran cadangan karbon.

Sampel Penelitian

Sampel terdiri atas lima pohon sagu tuni yang mewakili berbagai fase pertumbuhan, mulai dari anakan (diameter ± 9 cm, tinggi $\pm 1,5$ m) hingga pohon siap panen (diameter ± 47 cm, tinggi ± 11 m). Pemilihan ini dilakukan untuk memperoleh variasi morfometrik yang mencerminkan kondisi alami populasi sagu di lokasi penelitian.

Teknik Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan secara *purposive sampling* dengan kriteria:

1. pohon sehat dan utuh,
2. memiliki variasi ukuran batang,
3. tidak bercabang atau rusak, dan
4. mudah diakses untuk pengukuran.

Metode ini digunakan agar sampel sesuai dengan kebutuhan analisis metode destruktif dan non-destruktif.

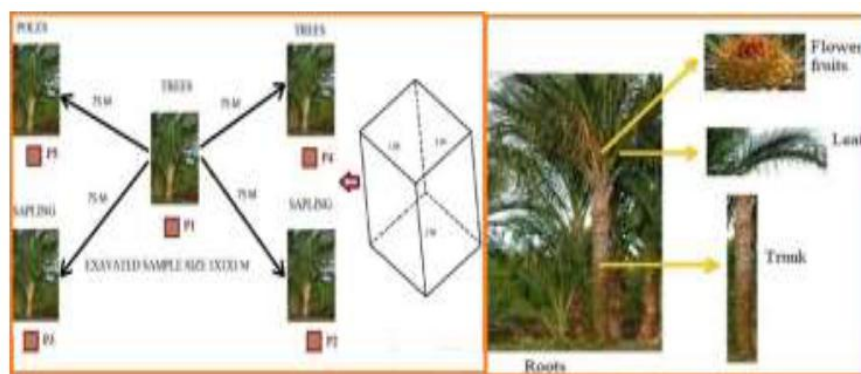
Alat dan Bahan

Alat: Peralatan yang digunakan meliputi GPS, phiband, hagameter, kantong plastik, timbangan analitik, oven, dan alat tulis.

Bahan: Bahan utama penelitian adalah pohon sagu tuni yang dijadikan sampel pengukuran.

Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan melalui dua tahap, yaitu pengambilan data lapangan dan analisis laboratorium. Tahap lapangan meliputi pengukuran parameter morfometrik dan pengambilan sampel biomassa untuk metode destruktif dan non-destruktif. Analisis laboratorium dilakukan untuk menentukan berat kering, kandungan karbon, dan rendemen pati dari satu pohon dewasa. Desain posisi pengambilan sampel sagu dan tanah serta pengukuran berat basah dan kering tiap segmen batang disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Tata Letak Pengambilan Sampel Sagu

Metode Destruktif

Metode destruktif merupakan pendekatan pengukuran biomassa dan cadangan karbon dengan menebang pohon secara langsung untuk memperoleh berat aktual setiap fraksi tanaman. Pendekatan ini dianggap paling akurat karena melibatkan pengambilan dan penimbangan langsung seluruh bagian tanaman.

a. Penebangan Pohon

Lima pohon sagu tuni dengan variasi ukuran dan umur pertumbuhan (anakan hingga dewasa) dipilih sebagai sampel. Penebangan dilakukan pada pangkal batang menggunakan alat potong sesuai prosedur keselamatan. Setiap pohon diperlakukan sebagai satuan analisis individu.

b. Distribusi Fraksi dan Penimbangan

Pohon yang ditebang dibagi menjadi fraksi batang, daun, bunga, buah, dan akar. Fraksi batang dipecah menjadi beberapa sub-fraksi sesuai kapasitas timbangan lapangan. Sampel segar dari tiap fraksi ditimbang di lokasi penelitian.

- Fraksi batang: diambil potongan melintang ± 250 g dari seperempat keliling batang tiap sub-fraksi.
- Fraksi daun: diambil contoh ± 250 g.
- Fraksi bunga dan buah: dikumpulkan secara utuh.

c. Pengeringan dan Penimbangan Berat Kering

Seluruh sampel dikeringkan di laboratorium pada suhu $70-85^{\circ}\text{C}$ hingga mencapai berat konstan. Setelah itu, sampel ditimbang menggunakan timbangan analitik untuk memperoleh berat kering biomassa masing-masing fraksi yang menjadi dasar perhitungan cadangan karbon.

d. Perhitungan C-Stock

Total berat kering dan stok karbon di hitung menggunakan rumus:

1) Total berat kering

$$Bkt = (Bks \times Bbt) / Bbs$$

Keterangan :

Bkt	=	total berat kering (kg)
Bks	=	total berat kering sampel (g)
Bbt	=	total berat basah (kg)
Bbs	=	berat basah sampel (g)

2) Stok karbon

$$C - stock = Biomassa \times 0,47$$

Keterangan :

C-stok	=	kandungan karbon
B	=	total biomassa

C organik = persentase kandungan karbon (0,47)

Metode Non-Destruktif

Metode non-destruktif digunakan untuk mengestimasi biomassa dan cadangan karbon tanpa menebang pohon. Pendekatan ini dilakukan dengan mengukur parameter morfometrik, yaitu diameter batang dan tinggi tanaman, sebagai dasar perhitungan biomassa secara tidak langsung.

Diameter batang diukur pada ketinggian 1,3 m dari permukaan tanah atau *Diameter at Breast Height* (DBH) menggunakan alat dendrometer untuk memperoleh hasil yang akurat dan konsisten. Tinggi tanaman diukur dari permukaan tanah hingga titik tertinggi batang utama (tidak termasuk pelepah daun) menggunakan pita ukur vertikal atau clinometer. Kedua parameter ini digunakan dalam perhitungan biomassa pohon tanpa merusak tanaman.

Estimasi biomassa C-stok dihitung menggunakan rumus:

1. Estimasi Biomassa:

Setelah pengukuran diameter dan tinggi tanaman dilakukan, langkah selanjutnya adalah menghitung biomassa (B). Dalam metode non-destruktif, biomassa diperkirakan secara tidak langsung dengan menggunakan rumus alometrik sebagai berikut:

$$Bap = V \times BJ \times BEF$$

Keterangan :

Bap= Biomassa atas permukaan (g)

V = volume kayu (m³) $P \times L \times T \times F$,

Dimana P = panjang, L = Lebar, T = Tinggi dan F = bilangan factor (0,7) (Hairiah K et al,2011)

BJ = berat jenis kayu (g/m³)

BEF = *biomassa expansion factor* (1,33)

Nilai BEF (Biomass Expansion Factor) mengacu pada hasil penelitian (Novita 2010) yaitu: nilai BEF 1,33 , Sedangkan BJ (Berat Jenis Sagu) mengacu pada penelitian(Azizah et al, 2023), yaitu: nilai BJ 0,37

1. Estimasi cadangan karbon (C-stock)

Perhitungan cadangan karbon dilakukan dari nilai biomassa menggunakan **faktor konversi karbon**

$$C - stock = Biomassa \times 0.47\%$$

Keterangan:

C-Stock = kandungan karbon dalam biomassa (ton)

D-B = biomassa

E-%C organik = persentase kandungan karbon sebesar (0,47)

Analisis Estimasi Rendemen Pati

Analisis rendemen pati dilakukan untuk mengetahui efisiensi ekstraksi pati dari batang sagu (*Metroxylon sagu*), yang menjadi indikator penting dalam pemanfaatannya sebagai sumber pangan dan bahan baku industri. Rendemen dihitung berdasarkan perbandingan antara berat pati kering hasil ekstraksi dengan berat basah batang sagu yang digunakan sebagai bahan baku.

1. Pengambilan Sampel

Sampel diambil secara destruktif dari pohon sagu fase siap panen (umur $\pm 7-10$ tahun) dengan kandungan pati maksimum. Batang dibelah, kemudian diambil bagian empulur yang mengandung pati sebagai bahan ekstraksi.

2. Proses Ekstraksi

Ekstraksi pati dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu:

- a) pamarutan atau penggilingan empulur hingga halus,
- b) pencampuran hasil parutan dengan air dan pengadukan hingga terbentuk suspensi pati,
- c) penyaringan untuk memisahkan ampas dari cairan pati,
- d) pengendapan cairan hingga pati mengendap di dasar wadah, dan
- e) pengeringan endapan hingga diperoleh pati kering siap dianalisis.

1. Perhitungan rendemen

Rendemen pati dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Rendemen} = \left(\frac{\text{berat pati kering (kg)}}{\text{berat basah batang (kg)}} \right) \times 100$$

Keterangan:

Berat pati kering = berat akhir pati setelah proses pengeringan

Berat basah batang = berat total batang sagu segar

Dalam penelitian ini, rendemen pati tidak diperoleh melalui proses ekstraksi langsung, melainkan dihitung secara estimatif berdasarkan berat empulur basah dari satu pohon sagu dewasa. Estimasi berat pati kering mengacu pada hasil penelitian Latumahina et al. (2020), yang melaporkan bahwa rendemen sagu tuni di Tulehu berkisar antara 13–16%. Pendekatan ini tidak merepresentasikan nilai aktual hasil ekstraksi, namun tetap memberikan gambaran teoritis mengenai potensi produksi pati dan relevan untuk menilai potensi ekonomi tanaman sagu.

Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan untuk membandingkan hasil pengukuran cadangan karbon (C-stock) dan rendemen pati yang diperoleh melalui dua metode, yaitu destruktif dan non-destruktif. Uji statistik

yang digunakan adalah **uji t berpasangan**, guna mengetahui perbedaan signifikan antara kedua metode.

Analisis Data C-Stock

Analisis dilakukan secara kuantitatif terhadap nilai cadangan karbon dari masing-masing pohon sampel berdasarkan hasil perhitungan kedua metode. Tahapan analisis dilakukan sebagai berikut:

1. Perhitungan C-Stock per Pohon

Cadangan karbon (C-stock) dihitung untuk masing-masing pohon sampel menggunakan kedua metode:

- Metode destruktif: berdasarkan biomassa kering hasil oven, dikalikan dengan faktor konversi karbon 0,47.
- Metode non-destruktif: menggunakan rumus alometrik dengan parameter diameter, tinggi pohon, berat jenis, dan faktor ekspansi biomassa (BEF), lalu dikalikan dengan faktor konversi karbon 0,47.

2. Perhitungan Selisih dan Deviasi Antar Metode

Untuk mengetahui perbedaan hasil antar metode, dilakukan perhitungan selisih absolut antara nilai C-stock dari metode destruktif dan non-destruktif pada setiap pohon, dengan rumus:

$$Selisih = C_{destruktif} - non - Destruktif$$

Selain itu, untuk mengukur sejauh mana deviasi estimasi dari metode non-destruktif terhadap metode destruktif, dihitung deviasi persentase dengan rumus:

$$Deviasi (\%) = \left(\frac{C_{destruktif} - C_{non-destruktif}}{C_{destruktif}} \right) \times 100\%$$

Deviasi dihitung untuk setiap pohon, kemudian dirata-rata untuk memperoleh deviasi rata-rata antar metode, yang menunjukkan apakah metode non-destruktif cenderung overestimasi atau underestimasi terhadap nilai aktual.

Uji Statistik

Uji statistik dilakukan untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan yang signifikan antara nilai cadangan karbon (C-stock) yang diperoleh melalui dua metode pengukuran, yaitu metode destruktif dan non-destruktif. Karena kedua metode diterapkan pada objek yang sama (pasangan sampel), maka digunakan uji statistik parametrik Paired Sample t-Test (uji t berpasangan).

1. Uji Normalitas

Sebelum dilakukan uji *t* berpasangan, terlebih dahulu dilakukan uji normalitas data menggunakan **uji Shapiro-Wilk**. Tujuan uji ini adalah untuk mengetahui apakah data dari kedua metode pengukuran berdistribusi normal.

Kriteria pengambilan keputusan ditetapkan sebagai berikut:

- Jika nilai signifikansi (Sig.) > 0,05 → data berdistribusi normal
- Jika nilai signifikansi (Sig.) ≤ 0,05 → data tidak berdistribusi normal

2. Uji Paired Sample t-Test

Apabila hasil uji normalitas menunjukkan bahwa data berdistribusi normal, maka dilanjutkan dengan **uji Paired Sample t-Test** untuk menentukan apakah perbedaan antara kedua metode signifikan secara statistik.

Kriteria pengambilan keputusan adalah sebagai berikut:

- Jika nilai *t*-hitung ≥ *t*-tabel → terdapat perbedaan yang signifikan antara dua metode
- Jika nilai *t*-hitung < *t*-tabel → tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara dua metode

Uji *t* dilakukan menggunakan perangkat lunak **SPSS**. Hasil analisis ini digunakan untuk memperkuat interpretasi terhadap selisih dan deviasi nilai cadangan karbon yang telah dihitung sebelumnya. Dengan demikian, analisis statistik ini berperan penting dalam menilai sejauh mana metode non-destruktif dapat digunakan sebagai alternatif yang andal terhadap metode destruktif dalam estimasi cadangan karbon pada tanaman sagu.

Analisis Rendemen Pati Sagu

Analisis rendemen pati bertujuan untuk mengetahui potensi hasil pati kering yang dapat diperoleh dari satu pohon sagu tuni dewasa berdasarkan berat empulur basah yang diperoleh di lapangan. Karena proses ekstraksi pati tidak dilakukan secara langsung dalam penelitian ini, maka perhitungan rendemen dilakukan secara **estimatif** dengan mengacu pada hasil penelitian sebelumnya yang relevan.

1. Data Empulur Basah

Empulur basah diperoleh dari satu pohon sagu tuni yang ditebang pada fase siap panen, kemudian dikupas dan ditimbang. Berat total empulur yang diperoleh sebesar 928 kg, dan data ini digunakan sebagai dasar untuk menghitung estimasi berat pati kering yang berpotensi dihasilkan.

2. Estimasi Persentase Rendemen

Estimasi rendemen pati didasarkan pada hasil penelitian Latumahina et al. (2020), yang melaporkan bahwa rendemen pati sagu tuni di wilayah Tulehu berkisar antara 13% hingga 16%. Beberapa referensi lain seperti Manuhuttu (2016) dan Marasabessy et al. Rendemen dihitung menggunakan rumus berikut:

Received: 08 Oktober 2025; Revised: 21 Oktober 2025; Accepted: 25 Oktober 2025; Published: 30 Oktober 2025

Vol. 2 No. 7, Oktober 2025 | **MARSEGU: Jurnal Sains dan Teknologi**

450

$$\text{Berat Pati Kering (kg)} = \text{Berat Empulur Basah (kg)} \times \text{Persentase Rendemen}$$

3. Interpretasi Hasil

Hasil estimasi ini digunakan untuk menggambarkan potensi ekonomi tanaman sagu sebagai sumber bahan pangan lokal. Meskipun bersifat estimatif, pendekatan ini dinilai valid karena berdasarkan studi empiris di lokasi dan jenis tanaman yang sama. Data ini mendukung penilaian terhadap kontribusi ekologis sekaligus nilai produktivitas dari pohon sagu tuni.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengukuran Metode Destruktif

Berikut disajikan hasil pengukuran cadangan karbon pohon sagu menggunakan metode destruktif, yang dilakukan melalui penebangan pohon, penimbangan berat basah dan kering, serta konversi ke cadangan karbon menggunakan faktor 0,47. Tabel ini menunjukkan data berat dan hasil perhitungan biomassa serta cadangan karbon aktual dari lima sampel pohon sagu.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Destruktif

Pohon	Berat Basah (kg)	Berat Kering (g)	Biomassa Kering (ton)	Cadangan Karbon (ton)
1	1662	646.6	1,47	0.69
2	1133	479.216	1,05	0.50
3	428.6	126.502	0,33	0.15
4	554	190.76	0,41	0.19
5	54.5	15.642	0,02	0.01
Rata-rata	766.4	291.7	0.66	0.31

Berdasarkan Tabel 1, diperoleh hasil menunjukkan bahwa berat basah tertinggi dimiliki oleh Pohon 1(P1) sebesar 1662 kg, sedangkan yang terendah adalah Pohon 5 sebesar 54,5 kg. Berat kering yang diperoleh setelah pengeringan di oven berkisar antara 15,64 g hingga 646,6 g, dan menghasilkan nilai biomassa kering antara 0,02 ton hingga 1,47 ton/pohon.

Data ini menunjukkan bahwa jumlah cadangan karbon yang tersimpan dalam pohon sagu sangat bergantung pada ukuran dan fase pertumbuhannya. Semakin besar pohon, maka semakin besar pula cadangan karbon yang dikandungnya. Hal ini sejalan dengan konsep ekologi bahwa biomassa tanaman berbanding lurus dengan potensi penyimpanan karbon (Hairiah et al., 2001).

Perhitungan cadangan karbon dilakukan dengan mengalikan biomassa kering dengan faktor konversi karbon sebesar 0,47 (sesuai IPCC 2006). Nilai cadangan karbon tertinggi tercatat pada Pohon 1 sebesar 0,69 ton, sedangkan yang terendah adalah Pohon 5 sebesar 0,01 ton. Rata-rata cadangan karbon dari seluruh pohon adalah 0,31 ton/pohon.

Data ini menunjukkan bahwa jumlah cadangan karbon yang tersimpan dalam pohon sagu sangat bergantung pada ukuran dan fase pertumbuhannya. Semakin besar pohon, maka semakin besar pula

cadangan karbon yang dikandungnya. Hal ini sejalan dengan konsep ekologi bahwa biomassa tanaman berbanding lurus dengan potensi penyimpanan karbon (Hairiah et al., 2001).

Hasil Pengukuran Metode Non-Destruktif

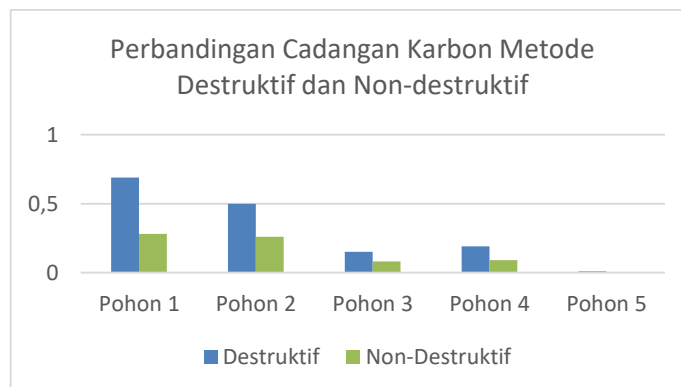
Tabel berikut menyajikan hasil pengukuran dan perhitungan cadangan karbon dari lima pohon sampel menggunakan metode non-destruktif.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Non-destruktif

Pohon	Diameter (cm)	Tinggi (m ³)	Biomassa (ton)	C-Stock (ton)
1	47	10	0.60	0.28
2	43	11	0.55	0.26
3	45	3	0.16	0.08
4	43	4	0.20	0.09
5	9	1,5	0.01	0.00
Rata-rata	37,4	5,9	0,30	0,14

Berdasarkan Tabel 2, nilai cadangan karbon yang diperoleh melalui metode non-destruktif berkisar antara 0,00 ton hingga 0,28 ton, dengan rata-rata sebesar 0,14 ton. Estimasi ini diperoleh dari pengukuran diameter dan tinggi pohon, kemudian dihitung melalui pendekatan volume dan biomassa. Hasil menunjukkan bahwa semakin besar ukuran pohon, maka semakin besar pula nilai cadangan karbon yang diestimasi. Namun secara umum, nilai yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan metode destruktif, menunjukkan adanya kecenderungan *underestimasi* pada pendekatan ini. Hasil ini menjadi dasar awal dalam membandingkan akurasi dengan metode destruktif yang digunakan pada sampel pohon yang sama.

Berikut ini disajikan grafik batang yang memperlihatkan nilai C-stock dari masing-masing pohon sampel berdasarkan kedua metode. Grafik ini bertujuan untuk menunjukkan secara langsung konsistensi selisih antara kedua pendekatan pengukuran serta membantu dalam interpretasi deviasi estimasi secara lebih intuitif.



Berdasarkan Grafik perbandingan nilai cadangan karbon (C-stock) dari lima pohon sagu, terlihat bahwa hasil pengukuran menggunakan metode non-destruktif selalu berada di bawah nilai metode

destruktif. Hal ini menunjukkan bahwa metode non-destruktif cenderung memberikan estimasi cadangan karbon yang lebih rendah dibandingkan hasil aktual yang diperoleh melalui metode destruktif.

Perbandingan Hasil Kedua Metode

Perbandingan antara metode destruktif dan non-destruktif bertujuan untuk mengetahui sejauh mana estimasi cadangan karbon (C-stock) dari metode non-destruktif mendekati nilai aktual yang diperoleh dari metode destruktif. Karena kedua metode diterapkan pada pohon yang sama, maka analisis perbandingan dapat dilakukan secara langsung untuk tiap sampel pohon.

Tabel 3. Perbandingan C-Stock

Pohon	C-Stock Destruktif (ton)	C-Stock Non-Destruktif (ton)	Selisih (ND-D) (ton)	Deviasi (%)
1	0.69	0.28	0,41	59,42
2	0.50	0.26	0,24	48,00
3	0.15	0.08	0,07	46,67
4	0.19	0.09	0,10	52,63
5	0.01	0.00	0,01	100,00
Ratarata	0.31	0.14	0.17	61,34

Berdasarkan Tabel 3, hasil pengukuran cadangan karbon menunjukkan bahwa nilai dari metode non-destruktif selalu lebih rendah dibandingkan metode destruktif pada seluruh pohon sampel. Selisih positif antara kedua metode berkisar antara 0,01 ton hingga 0,41 ton, sementara deviasi persentase berada dalam rentang 59,42% hingga 100,00%, dengan deviasi rata-rata sebesar 61,34%. Nilai deviasi ini mengindikasikan bahwa metode non-destruktif dalam penelitian ini mengalami underestimasi yang cukup besar terhadap nilai aktual cadangan karbon. Deviasi terbesar terjadi pada pohon berukuran kecil (Pohon 5), di mana metode non-destruktif tidak mampu mendeteksi cadangan karbon sama sekali (hasil = 0 ton), sehingga deviasi mencapai 100%.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode destruktif memberikan tingkat akurasi yang lebih tinggi dalam menggambarkan cadangan karbon aktual dibandingkan dengan metode non-destruktif. Keunggulan tersebut disebabkan oleh proses pengukuran langsung terhadap biomassa dan berat kering pohon, sehingga nilai yang diperoleh lebih merepresentasikan kondisi sebenarnya. Sebaliknya, metode non-destruktif berfungsi sebagai pendekatan alternatif yang lebih sesuai diterapkan di kawasan konservasi atau area yang tidak memungkinkan dilakukan penebangan. Untuk meningkatkan ketepatan hasil, metode non-destruktif perlu dikalibrasi dan disesuaikan melalui pengembangan persamaan alometrik yang lebih spesifik terhadap karakteristik sagu tuni dan kondisi lingkungan setempat agar estimasi yang dihasilkan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Hasil Uji Statistik Paired Sampel t-Test

Uji statistik dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik antara hasil pengukuran cadangan karbon menggunakan metode destruktif dan non-destruktif. Karena kedua metode diterapkan pada pohon yang sama, maka digunakan uji t berpasangan (*paired sample t-test*).

Tabel 4. Hasil Uji SPSS

Statistik	Nilai
Mean Difference	0.176 kg
Std. Deviation	0.16757
t-hitung (t)	2.349
df (derajat bebas)	4

Berdasarkan hasil uji Paired Sample t-Test, diperoleh nilai rata-rata perbedaan (Mean Difference) sebesar 0,176 dengan standar deviasi 0,16757. Nilai t-hitung yang dihasilkan adalah 2,349 dengan derajat bebas (df) = 4. Sementara itu, nilai t-tabel pada $\alpha = 0,05$ dan df = 4 adalah 2,131. Karena nilai t-hitung (2,349) lebih besar dari t-tabel (2,131), maka dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara metode destruktif dan non-destruktif dalam pengukuran cadangan karbon (C-stock). Dengan demikian, metode destruktif terbukti lebih akurat dalam menggambarkan nilai aktual cadangan karbon pada pohon sagu, karena melibatkan pengukuran langsung biomassa kering. Sementara itu, metode non-destruktif cenderung menghasilkan estimasi lebih rendah (*underestimasi*), terutama pada pohon berukuran kecil, sehingga kurang mewakili nilai sebenarnya.

Estimasi Rendemen Pati Sagu Berdasarkan Literatur

Estimasi rendemen pati dilakukan terhadap satu pohon sagu tuni dewasa dengan berat empulur basah sebesar 928 kg. Karena tidak dilakukan proses ekstraksi secara langsung, estimasi berat pati kering dihitung berdasarkan persentase rendemen dari hasil penelitian terdahulu, khususnya oleh Latumahina et al. (2020) yang menunjukkan bahwa rendemen sagu tuni berkisar antara 13% hingga 16%. Berikut ini estimasi hasil berat pati kering berdasarkan persentase rendemen yang digunakan:

No.	Persentase Rendemen (%)	Berat Empulur Basah (kg)	Estimasi Berat Pati Kering (kg)	Sumber referensi
1	13%	928	120,64	Latumahina et al. (2020)
2	14%	928	129,92	Estimasi Tambahan
3	15%	928	139,20	Manuhuttu (2016)
4	16%	928	148,48	Latumahina et al. (2020)

Berdasarkan tabel di atas, dapat disimpulkan bahwa pohon sagu tuni dewasa dengan berat empulur basah sebesar 928 kg memiliki potensi menghasilkan pati kering sebesar 120,64 kg hingga 148,48 kg, tergantung pada persentase rendemen yang digunakan. Estimasi ini mengacu pada nilai rendemen sebesar 13% hingga 16% yang diperoleh dari hasil penelitian terdahulu, khususnya oleh Latumahina et al. (2020) dan Manuhuttu (2016).

Meskipun proses pengolahan tidak dilakukan secara langsung, pendekatan estimatif ini tetap memberikan gambaran yang kuantitatif dan relevan terhadap potensi rendemen pati sagu. Dengan demikian, tujuan penelitian untuk mengetahui besarnya rendemen pati sagu dapat dicapai melalui perhitungan berbasis literatur dan data empirik yang sesuai dengan lokasi dan jenis sagu yang diteliti.

Perbandingan Hasil Pengukuran Cadangan Karbon antara Metode Destruktif dan Non-Destruktif

Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan nyata antara pengukuran cadangan karbon (C-stock) menggunakan metode destruktif dan non-destruktif pada tanaman sagu di Tulehu. Nilai C-stock metode destruktif berkisar antara 0,01–0,69 ton dengan rata-rata 0,31 ton, sedangkan metode non-destruktif hanya 0,00–0,28 ton dengan rata-rata 0,14 ton. Seluruh sampel menunjukkan kecenderungan bahwa metode non-destruktif menghasilkan estimasi lebih rendah (underestimasi) dibandingkan nilai aktual yang diperoleh secara destruktif.

Perbedaan ini disebabkan oleh karakteristik dasar kedua metode. Metode destruktif melibatkan penebangan, penimbangan, dan pengeringan hingga berat konstan, sehingga hasilnya dianggap sebagai nilai aktual atau *ground truth* (Brown, 1997). Sebaliknya, metode non-destruktif menggunakan pengukuran diameter dan tinggi pohon yang dimasukkan dalam persamaan alometrik, sehingga kesalahan kecil dalam pengukuran morfometrik dapat menimbulkan deviasi besar. Rata-rata selisih antara kedua metode mencapai 0,17 ton dengan deviasi 61,34%, menandakan keterbatasan metode non-destruktif pada jenis tanaman dengan variasi morfologi dan kepadatan jaringan yang tinggi seperti sagu.

Hasil uji *paired sample t-test* menunjukkan nilai t-hitung sebesar 2,349 ($df = 4$) lebih besar dari t-tabel 2,131 pada taraf signifikansi 0,05, yang berarti terdapat perbedaan signifikan antara kedua metode. Dengan demikian, metode destruktif terbukti memberikan hasil yang lebih akurat dan representatif terhadap cadangan karbon aktual dibandingkan metode non-destruktif. Temuan ini sejalan dengan Krisnawati et al. (2012), yang menyatakan bahwa metode destruktif tetap menjadi acuan utama dalam penelitian biomassa karena menghasilkan data faktual yang dapat dijadikan dasar pengembangan model alometrik. Chave et al. (2005) juga menegaskan bahwa validitas model non-destruktif sangat bergantung pada ketersediaan data destruktif yang akurat.

Meskipun memiliki keterbatasan, metode non-destruktif tetap penting karena tidak merusak ekosistem dan cocok digunakan untuk pemantauan jangka panjang, terutama di kawasan konservasi. Hervé et al. (2018) menekankan bahwa metode ini efisien, cepat, dan ramah lingkungan, meskipun akurasi perlu dikalibrasi menggunakan data destruktif. Oleh karena itu, pendekatan terbaik dalam penelitian biomassa dan cadangan karbon adalah kombinasi kedua metode, di mana metode destruktif digunakan sebagai acuan dasar, sedangkan metode non-destruktif diterapkan untuk pemantauan jangka panjang yang berkelanjutan.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa metode destruktif lebih akurat dalam menggambarkan cadangan karbon aktual pohon sagu, sedangkan metode non-destruktif lebih tepat digunakan sebagai alternatif monitoring yang efisien dan berkelanjutan.

Rendemen Pati dan Kaitannya dengan Potensi Ekonomi

Hasil estimasi menunjukkan bahwa satu pohon sagu tuni dewasa dengan berat empulur basah sekitar 928 kg berpotensi menghasilkan pati kering antara 120 hingga 148 kg, tergantung pada persentase rendemen yang digunakan dalam perhitungan. Nilai tersebut diperoleh melalui perhitungan estimatif karena proses ekstraksi tidak dilakukan secara langsung di lapangan, melainkan didasarkan pada data empiris dari penelitian terdahulu.

Rendemen tertinggi diperoleh pada asumsi 16%, yaitu sekitar 148,48 kg, sedangkan rendemen terendah dengan asumsi 13% menghasilkan sekitar 120,64 kg pati kering. Kisaran ini tergolong realistis dan sejalan dengan temuan Latumahina et al. (2020) di wilayah Tulehu serta Manuhuttu (2016) di Pulau Seram, yang melaporkan bahwa rendemen sagu berkisar antara 13–15%. Pendekatan estimatif ini tetap memberikan gambaran yang representatif mengenai potensi produktivitas sagu tuni, terutama dalam konteks pengelolaan sumber daya lokal dan pengembangan pangan berbasis kearifan lokal. Hasil ini juga menegaskan bahwa sagu tuni memiliki prospek ekonomi yang tinggi, baik sebagai sumber pangan alternatif maupun bahan baku industri berbasis pati.

Walaupun nilai rendemen yang digunakan bersifat perkiraan, metode ini tetap relevan untuk penelitian eksploratif yang belum memungkinkan pelaksanaan proses ekstraksi secara langsung. Oleh karena itu, penelitian lanjutan disarankan melibatkan ekstraksi nyata agar diperoleh nilai efisiensi dan mutu pati yang lebih akurat.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian yang dilakukan mengenai “*Studi Perbandingan Hasil Perhitungan Pengukuran C-stock antara Pengambilan Sampel Destruktif dan Non-Destruktif pada Tumbuhan Sagu di Tulehu*” menunjukkan bahwa metode destruktif menghasilkan nilai cadangan

karbon (C-stock) yang lebih tinggi dan akurat dibandingkan metode non-destruktif, dengan rata-rata 0,31 ton berbanding 0,14 ton serta perbedaan signifikan secara statistik (t -hitung 2,349 > t -tabel 2,131), sedangkan estimasi rendemen pati sagu berkisar antara 13–16% dari berat empulur basah (setara 120,64–148,48 kg pati kering dari 928 kg empulur), yang konsisten dengan hasil penelitian sebelumnya dan menunjukkan potensi tinggi pohon sagu di Tulehu sebagai sumber pati sekaligus penyimpan karbon penting bagi pengembangan ekonomi lokal dan mitigasi perubahan iklim.

DAFTAR PUSTAKA

- Brown, S. 1997. *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: A Primer*. FAO Forestry Paper 134. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- CIFOR-ICRAF. 2016. *Sagu dan potensi mitigasi perubahan iklim di Indonesia Timur*. Center for International Forestry Research.
- Hairiah, K., Dewi, S., Agus, F., Velarde, S., Ekadinata, A., & van Noordwijk, M. 2011. Manual pengukuran cadangan karbon: dari lahan pertanian sampai hutan. World Agroforestry Centre (ICRAF), SEA Regional Office.
- Hervé, D., Ngomanda, A., Obiang, N. L., Mbatchi, B., & Picard, N. 2018. Assessing biomass and carbon stocks in tropical forests: A review of methods and their applicability in Central Africa. *International Forestry Review*, 20(1), 1–17.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use*. Institute for Global Environmental Strategies (IGES).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (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.
- IPCC. 2006. Guidelines for national greenhouse gas inventories: Volume 4. Agriculture, forestry, and other land use. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- Ketterings, Q. M., Coe, R., van Noordwijk, M., Ambagau, Y., & Palm, C. A. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management*, 146(1–3), 199–209.
- Krisnawati, H., Wahjono, D., & Adinugroho, W. C. 2012. *Allometric models for estimating tree biomass in Indonesia*. Research and Development Center for Conservation and Rehabilitation, Forestry Research and Development Agency.
- Latumahina, S. A., Pattiselanno, F., & Salampessy, M. L. 2020. Analisis rendemen pati dari beberapa jenis sagu di Tulehu. *Jurnal Pertanian Maluku*, 15(2), 45–53.

- Manuhuttu, J. L. 2016. Kajian rendemen dan kualitas pati sagu (*Metroxylon sagu* Rottb.) di Pulau Seram. *Prosiding Seminar Nasional Pertanian Maluku*, 2(1), 89–94.
- Marasabessy, F. S., Pattiselanno, F., & Latumahina, S. A. 2015. Pengaruh teknik pemerasan terhadap rendemen dan mutu pati sagu. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 10(1), 35–42.
- Mardiatmoko, G., Osok, R., Luhukay, M., & Hatulesila, J. W. 2023. *Sago Forests for Food Security and Handling Climate Change in Small Islands of Indonesia*. *Journal of Environmental & Earth Sciences*, 3(1), 1–10.
- Rahayu, S., Johana, F., & Pambudi, S. 2015. *Agroforestri Sagu: Sebagai Program Aksi Penurunan Karbon di Kabupaten Jayapura*. *Prosiding Seminar Nasional Agroforestry*, 382-383.
- Salampessy, M. L., Pattinama, P. D., & Leiwakabessy, F. M. 2014. Efektivitas teknik pengolahan modern terhadap peningkatan rendemen pati sagu. *Jurnal Agroforestry Indonesia*, 6(2), 71–78.