



PAPER – OPEN ACCESS

Pendugaan Estimasi Stok Karbon pada Lahan Agroforestri di Sekitar Kawasan Penyangga Taman Nasional Way Kambas

Author : David Anderson Lubis dan Abraham Siagian
DOI : 10.32734/ee.v7i1.2312
Electronic ISSN : 2654-704X
Print ISSN : 2654-7031

Volume 7 Issue 1 – 2024 TALENTA Conference Series: Energy and Engineering (EE)



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/).

Published under licence by TALENTA Publisher, Universitas Sumatera Utara



Pendugaan Estimasi Stok Karbon pada Lahan Agroforestri di Sekitar Kawasan Penyangga Taman Nasional Way Kambas

David Anderson Lubis^{a*}, Abraham Siagian^b

^aDepartemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, Jl. Ulin, Kampus IPB Dramaga, Dramaga, Bogor, 16680, Indonesia

^bProgram Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Jln. Dr. T. Mansyur No 9 Padang Bulan, Medan 20222, Indonesia

davidanderson7478@gmail.com, abrahamsiagian8@gmail.com

Abstrak

Fotosintesis adalah proses di mana (CO₂) yang terdapat di atmosfer diserap dan diubah menjadi gugus gula, sebuah bentuk energi yang bermanfaat bagi berbagai bentuk kehidupan. Hal ini membuat hutan menjadi salah satu sumber daya alam yang mampu menyerap sejumlah besar karbondioksida dari atmosfer. Dalam dunia tumbuhan, fotosintesis adalah proses di mana daun mengolah air serta mineral dari tanah dengan bantuan sinar matahari untuk menghasilkan biomassa serta oksigen, yang kemudian dilepaskan ke udara. Proses ini dikenal sebagai resor karbon, atau tempat penyimpanan karbon. Data primer dan sekunder dikumpulkan secara langsung di lapangan; data primer terdiri dari informasi dan penelitian literatur tentang berbagai jurnal dan skripsi yang berkaitan dengan agroforestri di Taman Nasional Way Kambas. Tujuan penelitian ini untuk dapat mengetahui komposisi serta keanekaragaman hayati agroforestri yang mendominasi pada sistem agroforestri kawasan penyangga TNWK pada taraf semai, pancang, dan tiang adalah kapulaga (*Elettaria cardomomum*) serta pada tingkat pohon adalah nangka waru (*Hibiscus tiliaceus*). Vegetasi yang dominan ini ditanam karena masyarakat lokal memanfaatkannya sebagai tanaman obat dan kayu komersial yang memiliki nilai jual tinggi. Vegetasi di sistem agroforestri TNWK juga menghasilkan struktur horizontal dengan kurva J terbalik yang artinya vegetasi pada sistem ini beregenerasi secara normal. Potensi cadangan karbon pada sistem agroforestri kawasan penyangga TNWK sebesar 29,04587955 ton/ha.

Kata Kunci: Hutan; Keanekaragaman Hayati; Biomassa

Abstract

Photosynthesis, the mechanism by which atmospheric carbon dioxide (CO₂) is absorbed and transformed into sugar molecules, a valuable energy source for various organisms, establishes forests as a natural resource with the ability to sequester significant amounts of carbon dioxide from the atmosphere. In the plant world, photosynthesis is the process by which leaves process water and mineral nutrients from the soil with the help of sunlight to produce biomass and oxygen, which is released into the air. This process is known as carbon sequestration, or carbon storage. Primary and secondary data were collected directly in the field; primary data consists of information and literature research on various journals and theses related to agroforestry in Labuhan Ratu VII Village in Way Kambas National Park. The aim of this research is to determine the composition and biodiversity of agroforestry in Labuhan Ratu VII Village. The species that dominate in the agroforestry system of the TNWK buffer zone at the seedling, sapling, and pole levels are cardamom (*Elettaria cardomomum*) and at the tree level is sea hibiscus (*Hibiscus tiliaceus*). These dominant vegetation are planted because the local community utilizes them as medicinal plants and commercial wood with high market value. The vegetation in the TNWK agroforestry system also generates a horizontal structure with an inverted J-curve, indicating that vegetation in this system regenerates normally. The carbon reserve potential in the TNWK buffer zone agroforestry system is 29.04587955 tons/ha..

Keywords: Forests; Biodiversity; Biomass

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Hutan (*Forest*) adalah sumber daya alam yang paling mampu menyerap banyak karbon dioksida (CO₂) dari atmosfer karena fotosintesis, proses di mana (CO₂) yang ada di atmosfer diambil serta diubah menjadi gula, yang berguna bagi banyak makhluk hidup[1]. Hutan rakyat berperan penting dalam mengurangi kadar emisi gas pada atmosfer, salah satunya melalui kemampuannya menyerap dan mengumpulkan karbon dalam bentuk biomassa[2]. Banyak individu meyakini bahwa hutan tropis mempunyai kemampuan yang sungguh besar untuk menyerap serta menyimpan kadungan karbon dalam biomassa[3] Agar hutan dapat bertahan hidup, pohon-pohon membutuhkan sinar matahari, karbon dioksida (CO₂) yang diambil melalui udara, serta nutrisi dengan air yang diserap dari tanah. [4]. Tanaman penutup seperti tanah atau semak, dalam hal ini pohon, bisa menyerap CO₂ sepanjang alur fotosintesis serta menyimpannya menjadi bentuk organik pada biomassa pohon serta tanaman[5]. Dalam dunia tumbuhan, fotosintesis adalah proses di mana daun mengolah air serta nutrisi mineral dari tanah menggunakan bantuan sinar matahari untuk memberi hasil seperti biomassa dan oksigen, yang kemudian dilepaskan ke atmosfer. Proses ini dikenal sebagai penyerap karbon atau tempat penyimpanan karbon[6].

Biomassa dapat didefinisikan bahan organik yang menjadi bagian hasil dari proses fotosintesis, dapat berbentuk produk utama maupun sisa. [7]. Hampir semua provinsi memiliki jumlah biomassa yang sangat melimpah. [8]. Biasanya, biomassa ini berasal dari beragam jenis tumbuhan. Banyaknya sumber biomassa yang dihasilkan oleh suatu wilayah disebut sebagai potensi biomassa. [9]. Menurut beberapa peneliti, selulosa, hemiselulosa, dan lignin adalah komponen biomassa yang dapat dimanfaatkan, dengan energi rata-rata antara 3000 dan 4500 kilogram per gram. [10]. Kajian biomassa dalam penelitian produktivitas, yang penting untuk memahami aliran energi dan siklus hara dalam ekosistem hutan. Kajian biomassa kerap kali dibagi dua kelas: biomassa di atas permukaan tanah dan biomassa di bawah permukaan tanah. Kandungan karbon dalam biomassa hutan sangat signifikan, di mana unsur karbon membentuk hingga mendekati 50% dari vegetasi hutan [11]. Pada saat tahun 2000an, jumlah emisi karbondioksida sampai di angka 60,1 juta ton, yang kemudian meningkat hingga di angka 97,9 juta ton pada tahun 2016. Peningkatan polusi udara ini sangat dapat membuat adanya perubahan iklim yang ekstrem dan bencana alam, seperti puting beliung [12]. Biomassa memiliki banyak pemanfaatan. Beberapa di antaranya adalah bahwa mereka dapat digunakan secara lestari karena merupakan sumber daya yang dapat dipulihkan, meningkatkan efisiensi penggunaan limbah pertanian, dan tidak mengandung unsur sulfur, yang menyebabkan polusi udara akibat penggunaan bahan bakar fosil [13]. Perhitungan biomassa yang efektif dan akurat diperlukan untuk mengetahui jumlah karbon yang ada di suatu wilayah yang luas. Pada level masyarakat lokal, ini memungkinkan masyarakat untuk mengetahui potensi sumber daya energi dari biomassa dan kapasitas dari serapan karbon yang tersedia di wilayah mereka. [14]. Penggunaan biomassa semakin populer, namun masih menghadapi sejumlah tantangan yang berasal dari aspek sosial, kelembagaan, perekonomian, serta hukum. Biaya perancangan serta pengembangan energi dari biomassa sangat bervariasi, bergantung dari faktor-faktor seperti manajemen *supply* bahan baku, teknologi konversi, serta pertimbangan sosial serta lingkungan. [15].

1.2. Tujuan

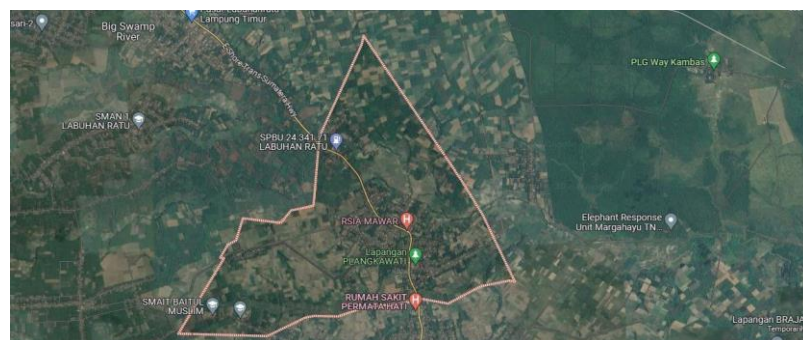
Penelitian memiliki tujuan untuk:

1. Mempelajari komposisi serta keanekaragaman hayati agroforestri
2. Mengkaji spesies tanaman yang dibudidayakan pada sistem agroforestri
3. menghitung estimasi simpanan karbon yang terdapat pada lahan agroforestri

2. Metode Penelitian

2.1. Penentuan lokasi Penelitian

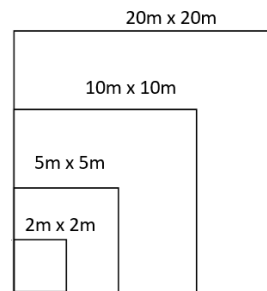
Penelitian dilakukan dari 4 Agustus 2023 hingga 14 Agustus 2023. Penelitian dilakukan di wilayah Taman Nasional Way Kambas.



Gambar 1. Desa Labuhan Ratu VII

2.2. Pembuatan Plot Contoh Pengamatan

Plot contoh di area agroforestri dipergunakan untuk memperoleh data primer langsung dari lapangan. Dimensi plot disesuaikan dengan standar IS.



Gambar 2. Desain plot pengamatan pada lahan agroforestri

2.3. Pengukuran struktur dan komposisi jenis tanaman

Struktur dan bagian-bagian tanaman tertentu digunakan untuk mengetahui persebaran jumlah jenis, desain penanaman dan pertumbuhan tanaman pada setiap plot. Struktur vegetasi dibentuk oleh komposisi jenis-jenis tanaman pada suatu lahan untuk menggambarkan suatu penyebaran tanaman secara ruang dan waktu.

2.4. Pengukuran diameter dan tinggi pohon

Pengukuran dilakukan pada vegetasi hidup di plot pengamatan, termasuk pohon dan tiang. Baik diameter (DBH = 1,3 m dari atas tanah) maupun tinggi keseluruhan diukur. Keliling batang dan diameter pohon diukur menggunakan pita ukur. Tinggi pohon (total dan bebas cabang) diukur menggunakan haga hypsometer.

2.5. Perhitungan Cadangan Karbon

Biomassa pohon di bagian atas tanah lahan agroforestri dihitung dengan persamaan alometrik:

$$B = V_{pohon} \times WD \times BEF_{pohon}$$

Keterangan:

V_{pohon} = volume pohon
 WD = wood density (gr/cm³)
 BEF = biomass expansion factor

Dengan mengalikan biomassa (dbh x rumus allometrik jenis pohon) dan faktor pengali (47% atau 0,47), kita dapat menemukan estimasi jumlah karbon yang tersimpan. Rumusnya adalah sebagai berikut:

$$C_n \text{ (ton/ha)} = \text{Biomassa (ton/ha)} \times 0,47$$

2.6. Keanekaragaman Hayati Agroforesti

Kekayaan Jenis, yang dihitung dengan menggunakan formula Margallef, dapat ditemukan di bawah ini:

$$R = \frac{(S - 1)}{\ln(N)}$$

R = Indeks Nilai Jenis
 S = Jumlah jenis yang diidentifikasi
 N = Jumlah total orang

$$H' = -\sum_i P_i \ln P_i$$

H' = Index Keanekaragaman Shannon

$P_i = \frac{n_i}{N}$

N

N_i = Nilai kerapatan ke-i

N = Total kerapatan

Indeks Kemerataan Jenis (E) menggambarkan seberapa merata individu-individu dalam suatu jenis. Nilai E dihitung sesuai dengan formula berikut ini.

$$E = (H')$$

$$\ln S$$

E= Indeks Ketidaksamaan Jenis

H= Indeks Keanekaragaman Jenis (S).

2.7. Koefisien Kesamaan Komunitas

Berdasarkan *Coefficient Presence-Community Jaccard*, indeks berguna sebagai menyangdingkan kesamaan komposisi jenis dari dua komunitas

$$ISJ = [C / (A + B + C)] \times 100\%$$

A = tipe di 1

B = tipe di 2

C = tipe di dua yang sama

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Komposisi dan Struktur pada Sistem Agroforestri

Jumlah dan jenis tanaman dalam suatu komunitas yang dipengaruhi oleh kondisi tempat tumbuhnya disebut komposisi vegetasi (Seran 2018). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem memiliki 58 spesies tanaman, termasuk 19 spesies pada tingkat semai, 6 spesies pada taraf pancang, 17 spesies pada taraf tiang, dan 16 spesies pada taraf pohon. Tabel 1 memperlihatkan jumlah total spesies dan individu pada masing-masing tingkat pertumbuhan pohon.

Tabel 1. Total spesies dan individu pada tingkat pertumbuhan

Parameter	Tingkat Pertumbuhan				Total
	Semai	Pancang	Tiang	Pohon	
Total spesies	19	6	17	16	58
Total individu (ind/ha)	1628	21	81	78	1808

Tabel 2. Spesies dengan INP tertinggi pada masing-masing tingkat pertumbuhan

Tingkat Pertumbuhan	Nama Ilmiah	Nama Lokal	INP (%)
Semai	<i>Elettaria cardomomum</i>	Kapulaga	64
Pancang	<i>Theobroma cocoa</i>	Kakao	81
Tiang	<i>Theobroma cocoa</i>	Kakao	61
Pohon	<i>Hibiscus tiliaceus</i>	Waru	41

3.2. Keanekaragaman Vegetasi pada Sistem Agroforestri

Keanekaragaman jenis dikatakan sedang apabila memiliki indeks $H' \geq 1-3$. Keanekaragaman jenis yang sedang pada lahan agroforestri tersebut dapat disebabkan karena jenis pohon yang ditanam kurang beragam dan umumnya jenis MPTS. Akan tetapi, nilai keanekaragaman tersebut lebih tinggi dibandingkan pola tanam monokultur. Berdasarkan hasil koefisien kesamaan komunitas, nilai kesamaan memiliki indeks kesamaan komunitas $< 50\%$ yang artinya pada lahan agroforestri dan lahan monokultur terdapat perbedaan jenis penyusun atau bahkan tidak adanya kesamaan jenis. Kekayaan jenis setiap komunitas dapat dihitung dengan indeks kekayaan jenis (R). Hasilnya menunjukkan bahwa keanekaragaman jenis pada level pertumbuhan sedang dan pada taraf pertumbuhan pancang, tiang, dan pohon memiliki keanekaragaman jenis yang tinggi. Menurut Salmanu (2015), kekayaan jenis dikatakan sedang apabila memiliki indeks $\geq 2,5-4$ sedangkan kekayaan jenis dikatakan tinggi apabila memiliki indeks > 4 .

Tabel 3. Nilai indeks keanekaragaman jenis (H'), indeks kekayaan jenis (R), indeks dominansi (C), dan indeks pemerataan (E)

Tingkat Pertumbuhan	H'	R	C	E
Semai	1.01 (s)	2.64 (s)	0.44 (s)	0.53 (m)
Pancang	2.35 (s)	6.65 (t)	0.37 (s)	0.55 (m)
Tiang	2.04 (s)	4.92 (t)	0.85 (t)	0.15 (tm)
Pohon	1.88 (s)	7.79 (t)	0.71 (s)	0.34 (tm)

Keterangan: r = rendah, s = sedang, t = tinggi, m = terdapat jenis yang mendominasi, tm = tidak ada jenis yang mendominasi

3.3. Perhitungan Cadangan Karbon

Data pendugaan cadangan karbon dari lima belas lokasi ditunjukkan pada Tabel 6. Plot 7 memiliki cadangan karbon tertinggi sebesar 87,64364954 ton/ha, dipengaruhi oleh jumlah individu pohon, keanekaragaman jenis, dan kerapatan vegetasi. Plot 7 memiliki 16 individu pohon dan 8 jenis pohon. Di lokasi penelitian, cadangan karbon rata-rata sebesar 29,04587955 ton/ha. Berapa besar cadangan karbon setiap lahan bergantung pada banyak faktor, termasuk keanekaragaman dan kerapatan tumbuhan, jenis tanah, dan metode pengelolaan lahan. Karena pohon di agroforestri berumur panjang dan menghasilkan lebih banyak serasah, Di lahan agroforestri, kemampuan penyerapan karbon lebih besar daripada di lahan monokultur. Namun, dalam pola agroforestri, cadangan karbonnya lebih rendah jika dibandingkan dengan hutan alam. Walaupun agroforestri tidak setara dengan hutan alam dalam hal penyimpanan karbon, sistem ini bisa meningkatkan cadangan karbon di lahan yang sudah terdegradasi.

Tabel 6. Potensi cadangan karbon

Lokasi	Pendugaan Cadangan Karbon (Ton/Ha)
Plot 1	56,37394824
Plot 2	20,10810698
Plot 3	16,20014296
Plot 4	11,19903311
Plot 5	11,11906948
Plot 6	-
Plot 7	87,64364954

Plot 8	78,93995813
Plot 9	12,89481903
Plot 10	28,06631516
Plot 11	29,08392567
Plot 12	8,4544336
Plot 13	24,84020339
Plot 14	13,06397316
Plot 15	8,654735173
<hr/>	
Rata-rata	29,04587955

4. Kesimpulan

Sistem agroforestri pada TNWK menerapkan sistem agroforestri sederhana. Spesies yang mendominasi pada sistem agroforestri kawasan penyangga TNWK pada tingkat semai, pancang, dan tiang adalah kapulaga (*Elettaria cardomomum*) serta pada tingkat pohon adalah nangka waru. Vegetasi yang dominan ini ditanam karena masyarakat lokal memanfaatkannya sebagai tanaman obat dan kayu komersial yang memiliki nilai jual tinggi. Vegetasi di sistem agroforestri TNWK juga menghasilkan struktur horizontal dengan kurva J terbalik yang artinya vegetasi pada sistem ini beregenerasi secara normal. Potensi cadangan karbon pada sistem agroforestri kawasan penyangga TNWK sebesar 29,04587955 ton/ha. Penerapan sistem agroforestri mampu meningkatkan keanekaragaman vegetasi sehingga dapat meningkatkan cadangan karbon dibandingkan dengan pola penanaman monokultur sebagai salah satu potensi untuk penerapan Indonesia's FOLU Net Sink 2030. Secara ekonomis, sistem agroforestri juga bermanfaat untuk menambah pendapatan petani.

Referensi

- [1] M. Irfan, G. O. Widhanarto, and I. Dewantara, "Estimasi cadangan karbon dari kegiatan reklamasi blok tambang PT. Citra Mineral Investido, Tbk. Kecamatan Sandai Kabupaten Ketapang, Kalimantan Barat," *J. Hutan Lestari*, vol. 9, no. 3, pp. 354–365, 2021.
- [2] D. Irundu, A. I. Idris, and P. Sudiarmiko, "Biomassa Dan Karbon Tersimpan Diatas Tanah Pada Hutan Rakyat Agroforestri," *J. Hutan dan Masy.*, vol. 15, no. 1, pp. 32–41, 2023, doi: 10.24259/jhm.v15i1.26365.
- [3] L. Agustina Rahmawati and E. Haryono, "Studi Optimalisasi Sequestrasi Karbon Dioksida (Co2) Berbasis Rumah Tangga," *Maj. Geogr. Indones.*, vol. 26, no. 1, pp. 59–79, 2012.
- [4] A. S. Padang, J. Kehutanan, F. Pertanian, U. Bengkulu, and J. W. Supratman, "Pendugaan Cadangan Karbon Di Atas Permukaan Tanah Di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (Khdtk) Universitas Bengkulu (Estimation of Aboveground Carbon Stocks in a Special Purpose Forest Area of Bengkulu University)," *J. Glob. For. Environ. Sci.*, vol. 3, no. 1, pp. 41–47, 2023.
- [5] Obed Nedjo Lense, Aditya Rahmadaniarti, and Lili Natalia Talebong, "Karbon Tersimpan (C-Stock) di Lantai Hutan Arboretum Fakultas Kehutanan Unipa," *J. Kehutan. Papuaasia*, vol. 8, no. 1, pp. 154–162, 2022, doi: 10.46703/jurnalpapuaasia.vol8.iss1.300.
- [6] F. Fitria, F. Fitriana, and R. Rahmat, "Biomassa dan Stok Karbon Berdasarakan Jenis Tumbuhan di Kawasan Pegunungan Sawang Ba'u Kecamatan Sawang Kabupaten Aceh Selatan," *Pros. Semin. Nas. Biot.*, pp. 62–65, 2015.
- [7] L. Parinduri and T. Parinduri, "Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan," *J. Electr. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 88–92, 2020, [Online]. Available: <https://www.dosenpendidikan>.
- [8] F. Fitriliana *et al.*, "Peluang Investasi dan Pengembangan Energi Biomassa: Perspektif Pemanfaatan dan Daya Saing Pengembangannya," *J. Serambi Eng.*, vol. 8, no. 3, pp. 6647–6653, 2023, doi: 10.32672/jse.v8i3.6505.
- [9] L. E. Richter, A. Carlos, and D. M. Beber, "No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title," vol. IX, no. 2, pp. 164–176.
- [10] S. S. Suhartoyo and Y. Kristiawan, "Pemanfaatan Limbah Biomassa Menjadi Sumber Energi Alternatif," *J. Crankshaft*, vol. 3, no. 2, pp. 23–28, 2020, doi: 10.24176/crankshaft.v3i2.5208.
- [11] I. Istomo and N. E. Farida, "POTENSI SIMPANAN KARBON DI ATAS PERMUKAAN TANAH TEGAKAN *Acacia nilotica* L. (Willd) ex. Del. DI TAMAN NASIONAL BALURAN, JAWA TIMUR," *J. Pengelolaan Sumberd. Alam dan Lingkungan. (Journal Nat. Resour. Environ. Manag.)*, vol. 7, no. 2, pp. 155–162, 2017, doi: 10.29244/jpsl.7.2.155-162.
- [12] A. S. Pramudiyanto and S. W. A. Suedy, "Energi Bersih dan Ramah Lingkungan dari Biomassa untuk Mengurangi Efek Gas Rumah Kaca dan Perubahan Iklim yang Ekstrem," *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 1, no. 3, pp. 86–99, 2020, doi: 10.14710/jebt.2020.9990.
- [13] N. F. T. Danun, G. P. Pasak, B. M. Simak, and J. Andi, "Potensi Pengembangan Biomassa Sebagai Alternatif Energi Terbarukan," *Bakar*, no. 1, 2022, [Online]. Available: <https://fisika.ukitoraja.ac.id/wp-content/uploads/2022/04/17.pdf>.

- [14] A. I. M. Lubis, Y. Prasetyo, and B. Sasmito, "Pemodelan Dan Pemetaan Biomassa Atas Permukaan (Aboveground Biomass) Tanaman Karet (Hevea Brasiliensis) Dengan L-Band Berdasarkan Pengamatan ALOS PALSAR-2 (Studi Kasus: Afdeling Setro, Kab. Semarang)," *J. Geod. Undip*, vol. 9, no. 2, pp. 122–131, 2020, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/view/27173>.
- [15] Radhiana *et al.*, "Strategi Keberlanjutan Pembangunan Energi Terbarukan Jangka Panjang Indonesia: Kasus Biomassa Energi Terbarukan di Sektor Pertanian, Perkebunan dan Kehutanan Indonesia," *J. Serambi Eng.*, vol. 8, no. 1, pp. 4978–4990, 2023.