

PENGARUH SERTIFIKASI TERHADAP ESTIMASI BIOMASSA BERDASARKAN CITRA UAV STUDI KASUS KEBUN KAKAO DI LUWU TIMUR

MUHAMMAD JUSTI MAKMUN JUSRIN



**PROGRAM STUDI KONSERVASI BIODIVERSITAS TROPIKA
FAKULTAS KEHUTANAN DAN LINGKUNGAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



- 

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Pengaruh Sertifikasi Terhadap Estimasi Biomassa Berdasarkan Citra UAV Studi Kasus Kebun Kakao Di Luwu Timur” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2025

Muhammad Justi Makmun Jusrin
E3501211012



RINGKASAN

MUHAMMAD JUSTI MAKMUN JUSRIN. Pengaruh Sertifikasi Terhadap Estimasi Biomassa Berdasarkan Citra UAV Studi Kasus Kebun Kakao di Luwu Timur. Dibimbing oleh YUDI SETIAWAN, dan LILIK BUDI PRASETYO.

Pemantauan stok karbon pada sistem agroforestri tropis, seperti kebun kakao, memiliki peran strategis dalam upaya mitigasi perubahan iklim. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) menduga potensi Biomassaa tegakan kakao menggunakan data tinggi pohon hasil pemodelan citra UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), (2) menghitung stok karbon yang tersimpan berdasarkan estimasi Biomassaa, dan (3) menganalisis pengaruh status sertifikasi kebun terhadap cadangan karbon. Data dikumpulkan dari 34 plot observasi di Kabupaten Luwu Timur, Sulawesi Selatan. Tinggi pohon estimasi dari UAV dikombinasikan dengan pengukuran diameter lapangan untuk menghitung Biomassaa menggunakan persamaan alometrik spesifik kakao. Hasil regresi menunjukkan korelasi yang cukup kuat antara tinggi estimasi dan tinggi observasi ($R^2 = 0,7344$), menandakan validitas UAV sebagai alat estimasi yang efisien dan non-destruktif. Estimasi stok karbon menunjukkan nilai yang bervariasi antara 6,17 hingga 39,34 ton CO₂e/ha berdasarkan kombinasi data tinggi dan diameter pohon observasi. Menariknya, kebun non-sertifikasi menunjukkan rata-rata stok karbon yang secara signifikan lebih tinggi (14,55 ton CO₂e/ha) dibandingkan dengan kebun bersertifikasi (9,18 ton CO₂e/ha; $p = 0,007$). Model GLMM menunjukkan bahwa parameter struktural vegetasi, seperti kerapatan pohon, diameter batang, dan tinggi tajuk, merupakan determinan utama stok karbon, sementara status sertifikasi tidak memberikan pengaruh signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa pengelolaan mikro oleh petani memiliki pengaruh lebih besar dibanding skema sertifikasi formal terhadap akumulasi karbon. Penelitian ini menegaskan bahwa agroforestri kakao berpotensi tinggi dalam mitigasi perubahan iklim, tidak hanya melalui akumulasi karbon, tetapi juga melalui penyediaan jasa ekosistem lainnya. Namun, kecenderungan pendekatan yang menitikberatkan pada akuntansi karbon semata berisiko mengaburkan manfaat ko-ekologis seperti konservasi keanekaragaman hayati. Oleh karena itu, pendekatan pemantauan berbasis UAV yang dikombinasikan dengan indikator ekologis dan sosial perlu dikembangkan untuk mendukung kebijakan iklim yang lebih holistik dan inklusif.

Kata kunci: agroforestri kakao, Biomassaa, sertifikasi, stok karbon, UAV.

SUMMARY

MUHAMMAD JUSTI MAKMUN JUSRIN. The Impact of Certification on Biomass Estimation Based on UAV Imagery A Case Study of Cocoa Farms in East Luwu. Supervised by YUDI SETIAWAN, and LILIK BUDI PRASETYO.

Monitoring carbon stocks in tropical agroforestry systems, such as cocoa plantations, plays a strategic role in climate change mitigation efforts. This study aims to: (1) estimate the Biomassa potential of cocoa stands using tree height data derived from UAV (Unmanned Aerial Vehicle) imagery; (2) calculate stored carbon stocks based on Biomassa estimation; and (3) analyze the influence of farm certification status on carbon reserves. Data were collected from 34 observation plots in East Luwu District, South Sulawesi, Indonesia. Estimated tree heights derived from UAV imagery were combined with field-measured diameters to compute Biomassa using cocoa-specific allometric equations. Regression results showed a strong correlation between estimated and observed tree height ($R^2 = 0.7344$), indicating UAVs are a valid, efficient, and non-destructive tool for field-scale estimation. Carbon stock estimates varied from 6.17 to 39.34 tCO₂e/ha, based on observed height and diameter data. Notably, non-certified farms exhibited significantly higher average carbon stocks (14.55 tCO₂e/ha) compared to certified farms (9.18 tCO₂e/ha; $p = 0.007$). GLMM analysis indicated that structural vegetation parameters—such as tree density, diameter, and canopy height—were key determinants of carbon stock, while certification status had no significant influence. These findings suggest that micro-level management practices implemented by farmers may have a greater impact on carbon accumulation than formal certification schemes. Overall, this study highlights the high mitigation potential of cocoa agroforestry, not only through carbon sequestration but also through broader ecosystem services. However, the dominant focus on carbon accounting risks overlooking ecological co-benefits such as biodiversity conservation. Thus, UAV-based monitoring approaches should be integrated with ecological and social indicators to inform more holistic and inclusive climate policies.

Keywords: Biomassa, carbon stock, certification, cocoa agroforestry, UAV.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



PENGARUH SERTIFIKASI TERHADAP ESTIMASI BIOMASSA BERDASARKAN CITRA UAV STUDI KASUS KEBUN KAKAO DI LUWU TIMUR

MUHAMMAD JUSTI MAKMUN JUSRIN

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Konservasi Biodiversitas Tropika

**PROGRAM STUDI KONSERVASI BIODIVERSITAS TROPIKA
FAKULTAS KEHUTANAN DAN LINGKUNGAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

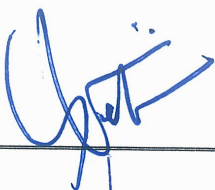
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Judul Tesis : Pengaruh Sertifikasi Terhadap Estimasi Biomass Berdasarkan
Citra UAV Studi Kasus Kebun Kakao Di Luwu Timur
Nama : Muhammad Justi Makmun Jusrin
NIM : E3501211012

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Dr. Yudi Setiawan, S.P. M. Env.Sc.

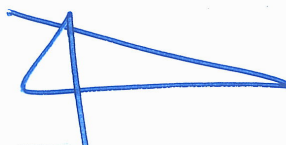
Pembimbing 2:
Prof. Dr. Ir. Lilik Budi Prasetyo, M.Sc.

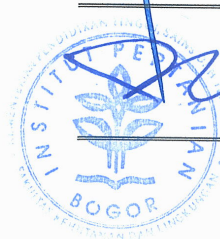



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Ir. Yanto Santosa, DEA.
NIP 19601004 198501 1 001

Dekan Fakultas Kehutanan dan Lingkungan
Prof. Dr. Ir. Naresworo Nugroho, MS
NIP 19650122 1989031002





Tanggal Ujian:
21 Juli 2025

Tanggal Lulus:
25 JUL 2025



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulisan tesis yang berjudul "Pengaruh Sertifikasi terhadap Estimasi Biomassaa Berdasarkan Citra UAV Studi Kasus Kebun Kakao di Luwu Timur" dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Dr. Ir. Yudi Setiawan, S.P., M.Env.Sc. selaku Ketua Komisi Pembimbing, serta Prof. Dr. Ir. Lilik Budi Prasetyo, M.S. selaku Anggota Komisi Pembimbing, atas segala bimbingan, arahan, dan masukan yang sangat berarti selama proses penyusunan dan penyelesaian tesis ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Prof. Dr. Ir. Nunung Nuryartono, M.Si. dan Saudara Muhammad Amin Rifai yang telah memperkenalkan kerja sama antara Institut Pertanian Bogor dan KU Leuven University, sehingga memungkinkan terselenggaranya kegiatan penelitian ini. Penulis juga menyampaikan penghargaan setinggi-tingginya kepada Bruno Verbist atas dukungannya dalam tahap pra-penelitian, serta kepada Saskia Dröge yang telah berperan penting sebagai bagian dari tim pengambilan data di lapangan. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih kepada orang tua, keluarga, serta seluruh sahabat dan rekan-rekan yang telah memberikan dukungan moral, semangat, dan doa selama proses studi dan penyusunan tesis ini.

Bogor, Juli 2025

Muhammad Justi Makmun Jusrin
E3501211012



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Kerangka Pikir	4
II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Biomassaa dan Stok Karbon	5
2.2 Peran Teknologi UAV dalam Estimasi Vegetasi	6
2.3 Model Alometrik dan Validasi Data Lapangan	7
2.4 Sertifikasi Kebun Kakao Indonesia	7
III METODE	9
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	9
3.2 Alat dan Bahan	9
3.3 Pemilihan Plot Sample	10
3.4 Alur Pengambilan Data	11
3.5 Analisis data	12
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	15
4.1 Akurasi Citra UAV dan Titik Pohon	15
4.2 Estimasi Tinggi Pohon	16
4.3 Potensi UAV sebagai Alat Estimasi Stok Karbon	18
4.4 Pengaruh Sertifikasi Terhadap parameter kebun kakao	21
4.5 Agroforestri Kakao Sebagai Mitigasi Iklim	23
V SIMPULAN DAN SARAN	26
5.1 Simpulan	26
5.2 Saran	26
DAFTAR PUSTAKA	28
LAMPIRAN	32
RIWAYAT HIDUP	35



DAFTAR TABEL

1	Alat dan Bahan Penelitian	10
2	Rencana Terbang	11
3	Akurasi Citra UAV	16
4	Model regresi linear antara T.Obs_T.Est dan D.Obs_T.Est	18
5	Uji Normalitas Kolmogorov-Smirnov dan Uji Heteroskedastisitas	18
6	Estimasi Stok karbon	20
7	Pengaruh Parameter Terhadap Stok Karbon	23

DAFTAR GAMBAR

1	Kerangka pikir penelitian	4
2	Lokasi Penelitian	9
3	Plot Penelitian	10
4	Alur Penelitian	11
5	Proses olah data UAV yang telah di akuisisi	12
6	Rumus CHM	12
7	Akurasi Titik Pohon	16
8	Canopy height model tegakan cocoa	17
9	(kiri) Model regresi linear antara tinggi pohon observasi (T.Obs) dan tinggi pohon estimasi (T.Est), (kanan) Model regresi linear antara diameter pohon observasi (D.obs) dan tinggi pohon estimasi (T.Est)	17
10	(a) Grafik sebaran residu antara D.Obs_T.Est (b) Grafik sebaran residu antara T.Obs_T.Est	19
11	GLMM hubungan beberapa parameter terhadap stok karbon pada lahan kakao	22
12	Persebaran stok karbon kebun tersertifikasi dan tidak tersertifikasi	22

DAFTAR LAMPIRAN

1	Lampiran 1 Rencana kerja Penelitian	30
---	-------------------------------------	----