



PEMODELAN PREDIKTIF BIOMASSA ATAS PERMUKAAN PADA AREAL REGENERASI ALAMI DI HUTAN TANAMAN LAHAN GAMBUT MENGGUNAKAN DATA SENTINEL-2

ANGGITA UTAMI CAHYANINGTYAS



**PROGRAM STUDI KONSERVASI BIODIVERSITAS TROPIKA
FAKULTAS KEHUTANAN DAN LINGKUNGAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

- 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 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.



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan tesis berjudul “Pemodelan Prediktif Biomassa Atas Permukaan pada Areal Regenerasi Alami di Hutan Tanaman Lahan Gambut Menggunakan Data Sentinel-2” 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, Agustus 2026

Anggita Utami Cahyaningtyas
E3501222023



RINGKASAN

ANGGITA UTAMI CAHYANINGTYAS. Pemodelan Prediktif Biomassa Atas Permukaan pada Areal Regenerasi Alami di Hutan Tanaman Lahan Gambut Menggunakan Data Sentinel-2. Dibimbing oleh YUDI SETIAWAN dan ERIANTO INDRA PUTRA.

Biomassa atas permukaan merupakan komponen penting dalam inventarisasi hutan dan estimasi cadangan karbon, tetapi pendugaannya melalui pengukuran lapangan memerlukan waktu, tenaga, dan biaya yang besar. Penelitian ini dilakukan pada areal hutan tanaman industri di lahan gambut tropis Sumatra yang telah mengalami pemanenan dan selanjutnya berkembang melalui regenerasi alami. Proses regenerasi tersebut menghasilkan kondisi tegakan yang heterogen dengan variasi struktur dan karakteristik vegetasi, sehingga hubungan antara variabel spektral dan biomassa atas permukaan menjadi lebih kompleks. Penelitian ini bertujuan mengembangkan model prediksi biomassa atas permukaan melalui integrasi hasil inventarisasi data lapangan dan Sentinel-2 serta membandingkan performa beberapa pendekatan pemodelan pada kondisi tegakan tersebut. Penelitian menggunakan 145 plot sampel dan empat algoritma, yaitu *linear model*, *generalized additive model*, *random forest*, dan *support vector regression*. Tinggi pohon yang tidak diukur diprediksi menggunakan model Weibull sebelum perhitungan biomassa atas permukaan. Hasil penelitian menunjukkan RF memberikan performa prediksi terbaik dengan RMSE sebesar 142,918 Mg ha⁻¹, MAE sebesar 103,758 Mg ha⁻¹, dan R^2 sebesar 0,177. Model *random forest* menggunakan sebelas variabel prediktor terpilih dan menghasilkan peta distribusi biomassa atas permukaan secara spasial. Meskipun *random forest* merupakan model dengan performa terbaik, nilai R^2 yang relatif rendah menunjukkan kemampuan variabel spektral Sentinel-2 dalam menjelaskan variasi biomassa masih terbatas pada kondisi tegakan yang heterogen. Keterbatasan tersebut menunjukkan variasi struktur tegakan dan karakteristik vegetasi pada areal regenerasi alami belum sepenuhnya dapat direpresentasikan oleh data spektral yang digunakan.

Kata kunci: biomassa atas permukaan, pemodelan prediktif, *random forest*, regenerasi alami, Sentinel-2



SUMMARY

ANGGITA UTAMI CAHYANINGTYAS. Predictive Modeling of Aboveground Biomass in Naturally Regenerating Peatland Plantation Forest Using Sentinel-2 Data. Supervised by YUDI SETIAWAN and ERIANTO INDRA PUTRA.

Aboveground biomass is an important component of forest inventories and carbon stock estimation, but its assessment through field measurements requires considerable time, labor, and cost. This study was conducted in an industrial plantation forest area on tropical peatland in Sumatra that had undergone harvesting and subsequently developed through natural regeneration. This regeneration process resulted in heterogeneous stand conditions with variations in stand structure and vegetation characteristics, making the relationship between spectral variables and aboveground biomass more complex. This study aimed to develop an aboveground biomass prediction model by integrating field inventory data and Sentinel-2 data and to compare the performance of several modeling approaches under these stand conditions. The study used 145 sample plots and four algorithms, namely linear model, generalized additive model, random forest, and support vector regression. Tree heights that were not measured in the field were predicted using a Weibull model prior to aboveground biomass estimation. The results showed that RF provided the best predictive performance, with an RMSE of 142.918 Mg ha⁻¹, MAE of 103.758 Mg ha⁻¹, and R² of 0.177. The random forest model used eleven selected predictor variables and produced a spatial distribution map of aboveground biomass. Although random forest showed the best performance among the evaluated models, its relatively low R² indicates that the ability of Sentinel-2 spectral variables to explain biomass variability remains limited under heterogeneous stand conditions. This limitation suggests that variations in stand structure and vegetation characteristics in naturally regenerating areas were not fully represented by the spectral data used in this study.

Keywords: aboveground biomass, natural regeneration, predictive modeling, random forest, Sentinel-2,



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 2026
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.



PEMODELAN PREDIKTIF BIOMASSA ATAS PERMUKAAN PADA AREAL REGENERASI ALAMI DI HUTAN TANAMAN LAHAN GAMBUT MENGGUNAKAN DATA SENTINEL-2

ANGGITA UTAMI CAHYANINGTYAS

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
2026**



@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.

Penguji pada Ujian Tesis:
Prof. Danang Surya Candra, S.Si., M.Sc., Ph.D.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

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.

Perpustakaan IPB University



Judul Tesis : Pemodelan Prediktif Biomassa Atas Permukaan pada Areal Regenerasi
Alami di Hutan Tanaman Lahan Gambut Menggunakan Data Sentinel-2
Nama : Anggita Utami Cahyaningtyas
NIM : E3501222023

Disetujui oleh

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

Pembimbing 2:
Dr. Erianto Indra Putra, S.Hut., M.Si.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Ir. Yanto Santosa, DEA.
NIP 196010041985011001

Dekan Fakultas Kehutanan dan Lingkungan:
Prof. Dr. Ir. Dodik Ridho Nurrochmat, M.Sc.F.Trop
NIP 196609211990032001



Tanggal Ujian:
7 Agustus 2026

Tanggal Lulus: 11 AUG 2026



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada *Allah subhanaahu wa ta'ala* atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga tesis ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian ini adalah Penginderaan Jauh untuk Pemodelan Biomassa Hutan dengan judul “Pemodelan Prediktif Biomassa Atas Permukaan pada Areal Regenerasi Alami di Hutan Tanaman Lahan Gambut Menggunakan Data Sentinel-2”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, yaitu Dr. Yudi Setiawan, S.P., M.Env.Sc. dan Dr. Erianto Indra Putra, S.Hut., M.Si., yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan masukan selama proses penelitian dan penulisan tesis ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Dr. Eva Rachmawati, S.Hut., M.Si. selaku ketua sidang dan Prof. Danang Surya Candra, S.Si., M.Sc., Ph.D. selaku penguji yang telah memberikan saran dan masukan yang berharga dalam perbaikan tesis ini.

Penulis menyampaikan terima kasih kepada *NUS Environmental Research Institute* (NERI) melalui *Integrated Tropical Peatlands Research Programme* (INTPREP) atas dukungan yang diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam kegiatan inventarisasi lapangan dan pengumpulan data penelitian. Penelitian ini juga memperoleh dukungan pendanaan dari Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) atas nama Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi Republik Indonesia melalui Program EQUITY. Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih atas dukungan yang telah diberikan dalam penelitian ini.

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada ayah, Sigit Widjanarko, ibu, Sri Lestari, dan adik, Aditya Fajar Erlangga, serta seluruh keluarga yang senantiasa memberikan doa, dukungan, kasih sayang, dan semangat kepada penulis selama proses studi hingga penyelesaian tesis ini. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada teman-teman di Subdirektorat Pelatihan serta teman-teman lainnya yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah memberikan doa, dukungan, semangat, dan kebersamaan selama proses penulisan tesis ini. Kehadiran dan perhatian yang diberikan menjadi salah satu hal yang membuat proses penyelesaian tesis ini terasa lebih ringan.

Penulis menyadari tesis ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk penyempurnaan karya ilmiah ini. Semoga tesis ini dapat memberikan manfaat bagi pihak-pihak yang membutuhkan serta berkontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang penginderaan jauh dan pemodelan biomassa hutan.

Bogor, Agustus 2026

Anggita Utami Cahyaningtyas



@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.



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	i
DAFTAR GAMBAR	i
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	4
II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Biomassa Atas Permukaan (AGB) Hutan Gambut	5
2.2 Pemanfaatan Data Satelit	6
2.3 Algoritma Regresi dalam Pembelajaran Mesin	6
III METODE	8
3.1 Waktu dan Lokasi	8
3.2 Alat dan Data	8
3.3 Prosedur Kerja	8
3.4 Pendekatan Inventarisasi Data Lapangan	10
3.5 Pendekatan Penginderaan Jauh	13
3.6 Algoritma Model	15
3.7 Kerangka Pemodelan	16
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	18
4.1 Model Hubungan Diameter Batang dan Tinggi Pohon	18
4.2 Pendugaan Biomassa Atas Permukaan (AGB)	21
4.3 Model Prediksi Biomassa Atas Permukaan (AGB) Menggunakan Data Sentinel-2	23
4.4 Pemetaan Prediktif Biomassa Atas Permukaan (AGB)	30
V SIMPULAN DAN SARAN	34
5.1 Simpulan	34
5.2 Saran	34
DAFTAR PUSTAKA	35
RIWAYAT HIDUP	43



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

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.

Perpustakaan IPB University

DAFTAR TABEL

1	<i>Band</i> spektral dan indeks vegetasi dari data satelit Sentinel-2B yang dipilih sebagai prediktor potensial untuk model prediksi AGB	14
2	Algoritma yang digunakan untuk mengembangkan model prediksi AGB	16
3	Parameter fungsi Weibull hasil pemodelan hubungan diameter batang dan tinggi pohon	18
4	Statistik deskriptif AGB pada tingkat plot	21
5	Perbandingan performa model awal	24
6	<i>Hyperparameter tuning</i> model RF berdasarkan variasi nilai <i>mtry</i>	26
7	Perbandingan performa model RF dan SVR sebelum dan sesudah <i>hyperparameter tuning</i>	27
8	Perbandingan performa model akhir	28
9	Statistik deskriptif hasil prediksi AGB model RF pada raster	32

DAFTAR GAMBAR

1	Lokasi survei lapangan	8
2	Alur proses penelitian	9
3	Sebaran plot sampel	11
4	Desain plot lingkaran	11
5	Desain plot persegi panjang	12
6	Hubungan DBH dan tinggi pohon berdasarkan model Weibull	19
7	Hubungan antara tinggi hasil pengukuran dan hasil prediksi (A) serta <i>residual plot</i> (B) model Weibull	20
8	Sebaran frekuensi nilai AGB pada tingkat plot	22
9	Variabilitas dan pencilan nilai AGB pada tingkat plot	22
10	Matriks korelasi Pearson antarvariabel dalam pemodelan	23
11	Perubahan nilai RMSE pada berbagai variasi nilai <i>mtry</i>	25
12	Perubahan nilai RMSE pada berbagai kombinasi nilai <i>sigma</i> dan <i>cost</i>	26
13	<i>Variable importance</i> pada model RF	29
14	Peta prediksi AGB menggunakan model (a) LM, (b) GAM, (c) RF, dan (d) SVR	31



@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.