

ANALISIS KEBERLANJUTAN ASPEK BIOFISIK EKOSISTEM MANGROVE BERBASIS DINAMIKA TUTUPAN LAHAN DI KESATUAN PEMANGKUAN HUTAN BANYUMAS BARAT

ABDUL HALIM SIREGAR



**ILMU PENGELOLAAN SUMBERDAYA ALAM DAN LINGKUNGAN
SEKOLAH PASCASARJANA
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.

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Analisis Keberlanjutan Aspek Biofisik Ekosistem Mangrove Berbasis Dinamika Tutupan Lahan di Kesatuan Pemangkuan Hutan Banyumas Barat” 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, 2026

Abdul Halim Siregar
P0502221008

RINGKASAN

ABDUL HALIM SIREGAR. Analisis Keberlanjutan Aspek Biofisik Ekosistem Mangrove Berbasis Dinamika Tutupan Lahan di Kesatuan Pemangkuan Hutan Banyumas Barat. Dibimbing oleh DODIK RIDHO NURROCHMAT dan YUDI SETIAWAN.

Kabupaten Cilacap memiliki kawasan mangrove seluas 6.286,80 hektar yang berpotensi besar sebagai penyerap karbon dan penyedia jasa ekosistem pesisir, namun belum tersedia data ilmiah yang komprehensif mengenai dinamika tutupan lahan dan estimasi stok karbon, sehingga menjadi kendala utama dalam merumuskan strategi pengelolaan yang efektif dan berbasis bukti. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan pengetahuan tersebut melalui: (1) analisis perubahan tutupan lahan mangrove selama periode 2019–2024, (2) analisis stok karbon mangrove, serta (3) perumusan strategi pengelolaan ekosistem mangrove yang berkelanjutan di KPH Banyumas Barat. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2025 hingga Mei 2026 di Kawasan Mangrove KPH Banyumas Barat, Kabupaten Cilacap.

Analisis perubahan tutupan lahan dilakukan dengan pendekatan *machine learning* yang mengombinasikan citra Sentinel-2, indeks vegetasi multispektral, dan klasifikasi *Random Forest* menggunakan platform Google Earth Engine. Estimasi stok karbon dilakukan melalui pengukuran lapangan pada 50 titik plot menggunakan persamaan alometrik spesifik jenis, yang kemudian dimodelkan secara spasial dengan regresi yang mengintegrasikan dua indeks vegetasi dengan korelasi tertinggi terhadap stok karbon aktual, yaitu *Soil-Adjusted Vegetation Index* (SAVI) dan *Inverted Red Edge Chlorophyll Index* (iRECI). Perumusan strategi dilakukan melalui wawancara terstruktur yang melibatkan 38 responden yang terdiri atas masyarakat lokal, nelayan, dan pelaku usaha (responden internal) serta perwakilan instansi pemerintah, penyuluh kehutanan, dan pakar konservasi (responden eksternal), yang datanya diolah secara bertahap menggunakan matriks IFE, EFE, IE, SWOT, dan QSPM.

Dinamika perubahan tutupan lahan menunjukkan penurunan tutupan mangrove sebesar 533,6 ha selama periode 2019–2024. Terjadi dua fase perubahan, yaitu pada tahun 2019–2022 luas mangrove menunjukkan tren peningkatan sebesar 46,4 ha, sementara pada tahun 2022–2024 luasan mangrove mengalami penurunan tajam mencapai 580,1 ha yang disebabkan oleh proses alami dan antropogenik, dengan laju kehilangan tertinggi terjadi pada tahun 2023–2024 sebesar 10,30%/tahun. Kondisi ini berdampak pada melemahnya fungsi ekologis kawasan, berkurangnya perlindungan pantai dari abrasi, serta mengancam ketahanan penghidupan masyarakat nelayan pesisir yang mata pencahariannya bergantung langsung pada produktivitas ekosistem mangrove. Hasil klasifikasi *Random Forest* menunjukkan akurasi tinggi dengan *Overall Accuracy* 97,82% dan koefisien Kappa 0,9521.

Hasil pengukuran pada 50 titik plot lapangan menunjukkan rata-rata stok karbon atas permukaan sebesar 24,27 ton C/ha (kisaran 3,00–40,00 ton C/ha), dengan *Rhizophora mucronata* memiliki stok karbon rata-rata tertinggi (27,04 ton C/ha) dan *Ceriops tagal* terendah (17,70 ton C/ha). Model regresi SAVI+iRECI yang dikembangkan untuk memetakan stok karbon secara spasial menunjukkan akurasi yang baik, dengan RMSE 3,79 ton C/ha (RMSE



LOOCV 4,02 ton C/ha) dan MAPE 14,33% terhadap rata-rata stok karbon hasil pengukuran lapangan. Model tersebut selanjutnya diterapkan pada seluruh piksel yang terklasifikasi sebagai mangrove untuk menghasilkan peta distribusi spasial stok karbon kawasan KPH Banyumas Barat.

Perumusan strategi melalui analisis SWOT menghasilkan 12 alternatif strategi yang terbagi dalam empat kelompok SO, WO, ST, dan WT. Total skor IFE sebesar 2,60 dan EFE sebesar 2,72 menempatkan posisi strategis KPH Banyumas Barat pada Kuadran V matriks IE, yakni zona jaga dan pertahankan, yang mencerminkan kawasan dengan potensi ekologis dan karbon yang signifikan namun berada dalam tekanan degradasi yang nyata akibat lemahnya kapasitas data, monitoring, dan penegakan regulasi. Prioritas strategi yang ditetapkan melalui QSPM menempatkan tiga strategi sebagai yang paling mendesak, yaitu: (1) optimalisasi skema perdagangan karbon melalui mekanisme REDD+ berbasis data stok karbon terukur (STAS 3,58), (2) pengembangan ekowisata mangrove berbasis edukasi dan konservasi (STAS 3,12), serta (3) pemanfaatan teknologi penginderaan jauh untuk monitoring dan evaluasi berkala kondisi mangrove (STAS 2,84). Ketiga strategi ini bersifat saling melengkapi, di mana strategi monitoring berbasis penginderaan jauh membangun basis data yang menjadi prasyarat keandalan skema karbon, sementara pembangunan sistem database dan monitoring terpadu (STAS 2,50) berperan sebagai fondasi infrastruktur pendukung bagi keberlanjutan implementasi strategi-strategi prioritas tersebut. Strategi pelengkap meliputi pengembangan zona penyangga mangrove dan tata ruang pesisir, rehabilitasi kawasan terdegradasi, penguatan regulasi dan kapasitas kelembagaan, pengembangan skema pendanaan alternatif melalui *Payment for Ecosystem Services* (PES), serta peningkatan kesadaran masyarakat pesisir melalui pendidikan lingkungan berbasis komunitas.

Kata kunci: *Blue carbon*, Mangrove, Random Forest, Stok karbon, SWOT..

.

SUMMARY

ABDUL HALIM SIREGAR. Sustainability Analysis Biophysical Aspect of Mangrove Ecosystems Based on Land Cover Dynamics in Kesatuan Pemangkuan Hutan Banyumas Barat. Supervised by Dodik Ridho Nurrochmat and YUDI SETIAWAN

Cilacap Regency has a total of 6,286.80 hectares of mangrove area in KPH Banyumas Barat, representing considerable potential as a carbon sink and provider of coastal ecosystem services. However, the absence of comprehensive scientific data on land cover dynamics and carbon stock estimation remains a major obstacle to developing effective, evidence-based management strategies. This study aimed to address this gap through: (1) analysing mangrove land cover change over the 2019–2024 period, (2) estimating mangrove carbon stock, and (3) formulating sustainable management strategies for the mangrove ecosystem in KPH Banyumas Barat. The study was conducted from January 2025 to May 2026 in the mangrove area of KPH Banyumas Barat, Cilacap Regency.

Land cover change was analysed using a machine learning approach that combined Sentinel-2 imagery, multispectral vegetation indices, and Random Forest classification on the Google Earth Engine platform. Carbon stock was estimated through field measurements at 50 sample plots using species-specific allometric equations, which were then used to develop a spatial regression model based on the two vegetation indices most strongly correlated with measured carbon stock: the Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI) and the Inverted Red Edge Chlorophyll Index (iRECI). Management strategies were formulated through structured interviews with 38 respondents, comprising internal respondents (local community members, fishermen, and business actors) and external respondents (government agency representatives, forestry extension officers, and conservation experts). The data were then analysed in stages using the IFE, EFE, IE, SWOT, and QSPM matrices.

The land cover analysis showed a net decline of 533.6 ha in mangrove cover over the 2019–2024 period, occurring in two distinct phases. During 2019–2022, mangrove area expanded by 46.4 ha, whereas during 2022–2024 it declined sharply by 580.1 ha as a result of natural and anthropogenic processes, with the highest rate of loss recorded in 2023–2024 at 10.30% per year. This decline has weakened the ecological functions of the area, reduced coastal protection against abrasion, and threatened the livelihoods of coastal fishing communities that depend directly on mangrove ecosystem productivity. The Random Forest classification achieved high accuracy, with an Overall Accuracy of 97.82% and a Kappa coefficient of 0.9521.

Field measurements at the 50 sample plots yielded a mean above-ground carbon stock of 24.27 ton C/ha (range: 3.00 - 40.00 ton C/ha), with *Rhizophora mucronata* showing the highest mean carbon stock (27.04 ton C/ha) and *Ceriops tagal* the lowest (17.70 ton C/ha). The SAVI+iRECI regression model developed to map carbon stock spatially performed well, with an RMSE of 3.79 ton C/ha (LOOCV RMSE of 4.02 ton C/ha) and a MAPE of 14.33% relative to the field-measured mean. The model was then applied to all

pixels classified as mangrove to produce a spatial distribution map of carbon stock for the KPH Banyumas Barat area.

The SWOT analysis produced 12 alternative strategies grouped into four categories: SO, WO, ST, and WT. With an IFE score of 2.60 and an EFE score of 2.72, KPH Banyumas Barat was placed in Quadrant V of the IE matrix the hold-and-maintain zone reflecting an area with significant ecological and carbon potential that nonetheless faces ongoing degradation pressure due to weak data capacity, limited monitoring, and inadequate regulatory enforcement. The QSPM ranked three strategies as the highest priority: (1) optimising carbon trading schemes through the REDD+ mechanism, underpinned by measured carbon stock data (STAS 3.58); (2) developing education- and conservation-based mangrove ecotourism (STAS 3.12); and (3) leveraging remote sensing technology for periodic monitoring and evaluation of mangrove condition (STAS 2.84). These three strategies are mutually reinforcing: the remote sensing monitoring strategy builds the data foundation required to substantiate the carbon trading scheme, while the development of an integrated database and monitoring system (STAS 2.50) provides the infrastructural basis needed to sustain the implementation of these priority strategies over the long term. Complementary strategies include developing mangrove buffer zones and coastal spatial planning, rehabilitating degraded areas, strengthening regulations and institutional capacity, developing alternative financing mechanisms through Payment for Ecosystem Services (PES), and raising coastal community awareness through community-based environmental education.

Keywords: Blue carbon, Carbon stock, Mangrove, Random Forest, SWOT.



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.

**ANALISIS KEBERLANJUTAN ASPEK BIOFISIK
EKOSISTEM MANGROVE BERBASIS DINAMIKA TUTUPAN
LAHAN DI KESATUAN PEMANGKUAN HUTAN
BANYUMAS BARAT**

ABDUL HALIM SIREGAR

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan
Lingkungan

**ILMU PENGELOLAAN SUMBERDAYA ALAM DAN LINGKUNGAN
SEKOLAH PASCASARJANA
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.

Tim Penguji pada Ujian Tesis:

1. Prof. Dr. Ir. Hadi Susilo Arifin, MS.
2. Dr. Ir. Nyoto Santoso, MS.



Judul Tesis : Analisis Keberlanjutan Aspek Biofisik Ekosistem Mangrove Berbasis Dinamika Tutupan Lahan Di Kesatuan Pemangkuan Hutan Banyumas Barat

Nama : Abdul Halim Siregar
NIM : P0502221008

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Dodik Ridho Nurrochmat, M.Sc.F.Trop.,IPU



Pembimbing 2:
Dr. Yudi Setiawan, S.P., M.Env.Sc



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Efi Yuliati Yovi, S. Hut., M.Life.Env.Sc.
NIP. 19740724 199003 2 003



Dekan Sekolah Pascasarjana:
Prof. Dr. Ir. Yusli Wardiatno, M.Sc.
NIP. 19660728 199103 1 002



Tanggal Ujian: 07 Agustus 2026

Tanggal Lulus:

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga penelitian ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam proposal penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Januari 2025 sampai Juni 2026 dengan judul “Analisis Keberlanjutan Aspek Biofisik Ekosistem Mangrove Berbasis Dinamika Tutupan Lahan di Kesatuan Pemangkuan Hutan Banyumas Barat”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Prof. Dr. Ir. Dodik Ridho Nurrochmat, M.Sc.F.Trop.,IPU dan Dr. Yudi Setiawan, S.P., M.Env.Sc. yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Prof. Dr. Ir. Hadi Susilo Arifin, MS. sebagai ketua sidang ujian tesis dan Dr. Ir. Nyoto Santoso, MS sebagai penguji luar komisi pembimbing dan seluruh dosen pengajar Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan yang telah memberikan ilmu selama perkuliahan. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada Institut Pertanian Bogor, Kepala Dinas Perikanan dan Kelautan Kab. Cilacap, Kepala KPH Banyumas Barat, Masyarakat Lokal yang telah memberikan izin dan membantu selama pengumpulan data. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada Ayah dan Ibu yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan, memberi manfaat bagi masyarakat, dan dapat dijadikan rujukan penelitian selanjutnya di bidang yang relevan.

Bogor, 2026

Abdul Halim Siregar

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	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Kerangka Pikir Penelitian	4
II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Ekosistem Mangrove dan Perannya dalam Pembangunan Berkelanjutan	7
2.2 Teknologi Penginderaan Jauh untuk Studi Mangrove	8
2.3 Citra Sentinel-2 untuk Analisis Vegetasi Mangrove	9
2.4 Stok Karbon pada Ekosistem Mangrove	10
2.5 <i>Blue Carbon</i> Mangrove dan Mekanisme REDD+	10
2.6 Analisis SWOT untuk Perumusan Strategi	11
2.7 Matriks <i>Quantitative Strategic Planning</i>	12
III METODE PENELITIAN	13
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	13
3.2 Alat dan Bahan	14
3.3 Tahapan Penelitian	16
3.4 Metode Analisis Data	17
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1 Perubahan Tutupan Lahan Mangrove KPH Banyumas Barat Tahun 2019-2024	24
4.2 Stok Karbon Ekosistem Mangrove KPH Banyumas Barat	29
4.3 Strategi Pengelolaan Berkelanjutan Ekosistem Mangrove KPH Banyumas Barat	34
V SIMPULAN DAN SARAN	40
5.1 Simpulan	40
5.2 Saran	40
DAFTAR PUSTAKA	42
LAMPIRAN	51
RIWAYAT HIDUP	62

DAFTAR TABEL

1	Matriks data penelitian	15
2	Training sampel masing-masing penggunaan lahan	17
3	Klasifikasi kerapatan (stratum)	18
4	Klasifikasi posisi zona mangrove	19
5	Persamaan alometrik spesies mangrove	19
6	Perubahan tutupan lahan mangrove Tahun 2019-2024	25
7	Perubahan luas masing-masing penggunaan lahan	26
8	<i>Confusion matrix</i>	29
9	Stok karbon atas permukaan mangrove KPH Banyumas Barat	30
10	Matriks <i>internal Factor Evaluation</i> (IFE)	34
11	Matriks <i>Eksternal Factor Evaluation</i> (EFE)	35
12	Matriks SWOT strategi pengelolaan mangrove KPH Banyumas Barat	37
13	Hasil QSPM dan prioritas strategi	38

DAFTAR GAMBAR

1	Kerangka pemikiran	5
2	Peta lokasi penelitian	13
3	Perubahan tutupan lahan mangrove Tahun 2019-2024	26
4	Hubungan indeks vegetasi dan stok karbon	31
5	Validasi nilai karbon aktual dan karbon prediksi	32
6	Peta stok karbon KPH Banyumas Barat	33
7	Kuadran posisi strategis matriks Internal- Eksternal (IE)	37

DAFTAR LAMPIRAN

1	Kuesioner rekomendasi strategi	52
2	Hasil pengukuran lapangan	56
3	Perbandingan karbon aktual dan hasil prediksi	59
4	Tanggal akuisisi Citra Sentinel 2 tahun 2019-2024	61