

ESTIMASI DINAMIKA MANGROVE MUSIMAN MENGUNAKAN INTEGRASI DATA ALOS PALSAR-2 DAN SENTINEL-2 DI PULAU LUSI, JAWA TIMUR

ALVIN WILDAN SAHLI



**DEPARTEMEN GEOFISIKA DAN METEOROLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
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 SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Estimasi Dinamika Mangrove Musiman Menggunakan Integrasi Data ALOS PALSAR-2 dan Sentinel-2 di Pulau Lusi, Jawa 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 skripsi ini.

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

Bogor, Juli 2026

Alvin Wildan Sahli
G2401221033



@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.



ABSTRAK

ALVIN WILDAN SAHLI. Estimasi Dinamika Mangrove Musiman Menggunakan Integrasi Data ALOS PALSAR-2 dan Sentinel-2 di Pulau Lusi, Jawa Timur. Dibimbing oleh PERDINAN dan ERIANTO INDRA PUTRA.

Pulau Lusi (Sidoarjo), delta muda hasil sedimentasi Lumpur Lapindo, mengalami kolonisasi mangrove cepat yang berfungsi sebagai penyerap karbon biru potensial. Kajian ini bertujuan mengevaluasi dinamika spasio-temporal biomassa dan struktur kanopi mangrove serta respons ekofisiologinya terhadap variabilitas hidroklimat (1995–2025). Menggunakan citra ALOS PALSAR-2 dan Sentinel-2A, analisis diintegrasikan melalui metode *Grey Level Co-Occurrence Matrix* (GLCM), *Random Forest*, tren *Mann–Kendall*, korelasi *lag*, *Kernel Density Estimation* (KDE), dan *K-Means Clustering*. Hasil menunjukkan polarisasi kanal HV jauh lebih sensitif dan konsisten dalam memantau perkembangan kanopi dibandingkan kanal HH. Hamburan balik kanal HV menunjukkan tren meningkat yang signifikan ($\tau = 0,314$; $p < 0,05$; *Sen's slope* = $+0,0447\text{dB/musim}$), sementara kanal HH tidak menunjukkan tren nyata ($\tau = -0,124$; $p > 0,05$; *Sen's slope* = $-0,0132\text{dB/musim}$). Analisis korelasi *lag* mendeteksi pengaruh muson yang kuat; curah hujan dan kelembapan relatif berkorelasi positif pada *lag* pendek (1–3 bulan), sedangkan suhu, *vapor pressure deficit* (VPD), Evapotranspirasi referensi (ET_0), dan kecepatan angin berkorelasi negatif, sebelum polanya berbalik pada *lag* menengah-panjang. Secara spasio-temporal, ekosistem mengalami ekspansi horizontal pesat selama fase basah La Niña (2021–2023) yang dipicu oleh lonjakan suplai sedimen, lalu melambat saat fase El Niño seiring transisi menuju pertumbuhan struktural vertikal dan akumulasi biomassa. Temuan ini menegaskan keandalan polarisasi kanal HV SAR L-band sebagai indikator yang memadai untuk pemantauan biomassa dan dinamika ekosistem pesisir yang dinamis.

Kata kunci: biomassa mangrove, hidroklimat, Pulau Lusi, SAR.



@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



ABSTRACT

ALVIN WILDAN SAHLI. Seasonal Mangrove Dynamics Estimation Using Integrated ALOS PALSAR-2 and Sentinel-2 Data in Lusi Island, East Java. Supervised by PERDINAN and ERIANTO INDRA PUTRA.

Lusi Island (Sidoarjo), a young delta formed by Lapindo mudflow sedimentation, is undergoing rapid mangrove colonization, serving as a vital blue carbon sink. This study evaluates the spatio-temporal dynamics of mangrove biomass and canopy structure alongside their ecophysiological responses to hydroclimatic variability (1995–2025). Utilizing ALOS PALSAR-2 and Sentinel-2A datasets, the analytical framework integrates *Grey Level Co-Occurrence Matrix* (GLCM), Random Forest, Mann–Kendall trend testing, lag correlation, Kernel Density Estimation (KDE), and K-Means Clustering. The results demonstrate that HV cross-polarization is significantly more sensitive and consistent in tracking canopy development than canal HH co-polarization. Canal HV *backscatter* exhibited a significant upward trend ($\tau = 0.314$, $p < 0.05$, *Sen's slope* = +0.0447dB/season), whereas HH showed no significant trend ($\tau = -0.124$, $p > 0.05$, *Sen's slope* = -0.0132 dB/season). Lag correlation analysis reveals a pronounced monsoonal signature: precipitation and relative humidity correlate positively at short lags (1–3 months), whereas temperature, vapor pressure deficit (VPD), reference evapotranspiration (ET_0), and wind speed correlate negatively, with these relationships reversing at medium-to-long lags. Spatio-temporally, the ecosystem experienced rapid horizontal expansion during the wet La Niña phase (2021–2023) triggered by a massive sediment pulse, which subsequently decelerated during El Niño as the trajectory shifted toward vertical structural growth and biomass accumulation. These insights confirm that L-band HV SAR polarization is a robust indicator for monitoring biomass and the shifting dynamics of changing coastal ecosystems.

Keywords: hydroclimate, mangrove biomass, Lusi Island, synthetic aperture radar.



@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 University

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 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.



@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

ESTIMASI DINAMIKA MANGROVE MUSIMAN MENGUNAKAN INTEGRASI DATA ALOS PALSAR-2 DAN SENTINEL-2 DI PULAU LUSI, JAWA TIMUR

ALVIN WILDAN SAHLI

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains
pada Program Studi Meteorologi Terapan

**DEPARTEMEN GEOFISIKA DAN METEOROLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:
Uzatul Hafizah, S.Si., M.Si.

- 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 Skripsi : Estimasi Dinamika Mangrove Musiman Menggunakan Integrasi
Data Alos Palsar-2 dan Sentinel-2 di Pulau Lusi, Jawa Timur

Nama : Alvin Wildan Sahli
NIM : G2401221033

Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Perdinan, S.Si., M.Nat.Res.Econ., Ph.D.



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

Diketahui oleh

Ketua Departemen Geofisika dan Meteorologi
Dr. Ana Turyanti, S.Si, M.T.
NIP 197107071998032002

Tanggal Ujian:
7 Juli 2026

Tanggal Lulus:



@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 dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam kajian yang dilaksanakan sejak bulan Januari 2026 sampai bulan Mei 2026 ini dengan judul “Estimasi Dinamika Mangrove Musiman Menggunakan Integrasi Data Alos Palsar-2 dan Sentinel-2 di Pulau Lusi, Jawa Timur”.

Terlaksanakannya kajian ini tak terlepas dari dukungan moral dan materiil dari berbagai pihak. Oleh karena itu, Terima kasih penulis ucapkan kepada:

1. Kedua orang tua penulis, yang selalu memberikan kepercayaan dan semangat kepada penulis.
2. Para pembimbing penulis atas segala arahan, bimbingan dan masukkannya.
3. Kakak dan Abang dari Generasi Hijau Indonesia (GHI) atas diskusi yang berharga.
4. Kawan-kawan Departemen Geofisika dan Meteorologi yang telah kebersamai penulis selama masa studi.
5. Keluarga besar divisi Sosial dan Lingkungan Himagreto karena telah menjadi ruang tumbuh bagi penulis.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan sebagai salah satu platform untuk monitoring kawasan mangrove pesisir.

Bogor, Juli 2026

Alvin Wildan Sahli



@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	xx
DAFTAR GAMBAR	xx
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	3
II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kekeringan Fisiologis	5
2.2 RADAR (<i>Radio Detection and Ranging</i>)	6
2.3 SAR (<i>Synthetic Aperture Radar</i>)	6
2.4 Mekanisme Hamburan dan Polarisasi pada SAR	7
2.5 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Hamburan Balik Radar SAR	9
2.6 ALOS PALSAR-2	9
2.7 Citra Multi spektral	10
2.8 Sentinel-2A	11
2.9 Ekosistem Mangrove Delta	12
III METODE	13
3.1 Lokasi Kajian	13
3.2 Alat dan Sumber Data Kajian	13
3.3 Kerangka Kajian	14
3.4 Pra-pemrosesan Data	15
3.4.1 Data Iklim	15
3.4.2 Data Sentinel-2	15
3.4.3 Data <i>Synthetic Aperture Radar</i> (SAR)	16
3.5 Analisis Kekeringan Atmosfer	16
3.6 Ekstraksi Fitur dan Analisis Tekstur	17
3.6.1 Indeks Band Citra Optik	17
3.6.2 Indeks Radar	17
3.6.3 Analisis Tekstur <i>Grey Level Co-occurrence Matrix</i> (GLCM)	18
3.7 Klasifikasi Tutupan Mangrove	19
3.8 Estimasi Biomassa Relatif Berbasis SAR	20
3.9 Analisis Distribusi Temporal Menggunakan KDE	20
3.10 Analisis Tren Temporal	21
3.10.1 <i>Mann–Kendall Trend Test</i>	21
3.10.2 <i>Sen’s slope Estimator</i>	21
3.11 Uji Normalitas dan Analisis Korelasi	22
3.11.1 Uji Normalitas Kolmogorov–Smirnov	22
3.11.2 Uji Korelasi	22
3.12 Analisis Spasial dan Zonasi Ekosistem	22
3.12.1 <i>Principal Component Analysis</i> (PCA)	22
3.12.2 <i>Davies–Bouldin Index</i> (DBI)	23



3.12.3 K-Means Clustering 23

IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1	Kondisi Hidroklimat Pulau Lusi	25
4.2	Analisis Performa SAR dalam Pemetaan Mangrove	31
4.3	Pengaruh Musim Terhadap Respons Hamburan Balik SAR	33
4.4	Estimasi <i>Above Ground Biomass</i> dan Variasi Spatiotemporalnya	38
4.5	Potensi Pengembangan Kawasan Mangrove Berdasarkan Klaster Pertumbuhan	39
4.6	Implementasi <i>Google Earth Engine (GEE) Apps</i> dalam Pemantauan Mangrove Pulau Lusi	44
V	SIMPULAN DAN SARAN	47
5.1	Simpulan	47
5.2	Saran	47
	DAFTAR PUSTAKA	49

DAFTAR TABEL

1	Tabel 1 Alat	13
2	Tabel 2 Data yang digunakan dalam kajian	14

DAFTAR GAMBAR

3	Gambar 1 <i>Synthetic aperture radar imagery</i> (Braun (2019)).	7
4	Gambar 2 Sensitivitas pengukuran SAR terhadap struktur hutan dan penetrasi ke dalam kanopi pada berbagai panjang gelombang (Meyer (2018)).	7
5	Gambar 3 Ilustrasi SAR: (a) polarisasi dan (b) hamburan balik (Braun 2019; Proisy <i>et al.</i> 2000)	8
6	Gambar 4 Faktor yang mempengaruhi intensitas hamburan balik (Braun 2019)	9
7	Gambar 5 Karakteristik spektral tanaman sehat, tanaman yang mengalami stres, dan tanaman kering (Goebel dan Iwaszczuk 2023)	11
8	Gambar 6 Fungsi respons spektral setiap kanal sensor MSI Sentinel-2A (Li <i>et al.</i> 2018)	12
9	Gambar 7 Peta administrasi Jawa Timur dan wilayah kajian Pulau Lusi	13
10	Gambar 8 Diagram alir kajian	15
11	Gambar 9 Parameter klimatologi (a) suhu, (b) curah hujan, (c) kecepatan angin, dan (d) kelembapan, VPD serta ET0 1995-2025	26
12	Gambar 10 Bubble plot kejadian iklim ekstrem berdasarkan ambang persentil ke-95 (P95) periode 1995–2025	28
13	Gambar 11 Parameter klimatologi agregasi bulanan (a) suhu, (b) curah hujan, (c) kecepatan angin dan (d) kelembapan, VPD serta ET0	30
14	Gambar 12 <i>Gray level co-occurrence matrix</i> pada polarisasi: (a) HH dan (b) HV	31
15	Gambar 13 Dinamika temporal pada 15 titik sampel polarisasi: (a) lokasi sampel, (b) nilai hamburan balik multitemporal pada titik sampel	32
16	Gambar 14 Respons musim terhadap polarisasi: (a) HV, (b) HH pada mangrove	34
17	Gambar 15 Analisis korelasi anomali polarisasi SAR dan parameter hidroklimat	35
18	Gambar 16 Dinamika ENSO dan IOD 2020-2025	36
19	Gambar 17 <i>Cross-Correlation Function</i> (CCF): respons mangrove terhadap iklim dan indeks global	37
20	Gambar 18 Distribusi polarisasi kanal HV	38
21	Gambar 19 Validasi rentang nilai <i>backscatter</i> polarisasi kanal HV pada ekosistem mangrove (diadopsi dari Darmawan <i>et al.</i> 2019)	39
22	Gambar 20 <i>K-means clustering</i> (a) visualisasi spasial, (b) karakteristik temporal	40
23	Gambar 21 Total AGB, AGC dan luas mangrove Pulau Lusi selama periode kajian	41



24	Gambar 22 Peta estimasi usia mangrove (a) secara spasial (Beselly <i>et al.</i> 2021), (b) AGB berdasarkan fase pertumbuhan	42
25	Gambar 23 Peta area mangrove Pulau Lusi 2021-2025	43
26	Gambar 24 Fluktuasi luasan kawasan mangrove	44
27	Gambar 25 <i>Google earth engine apps</i>	45

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- 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.