

**ESTIMASI BIOMASSA PERMUKAAN MANGROVE MENGGUNAKAN
CITRA PLANET SCOPE DI DESA MARGASARI LAMPUNG TIMUR**

(Skripsi)

Oleh

**Bima Arif Hidayah
2154151010**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

ESTIMASI BIOMASSA PERMUKAAN MANGROVE MENGGUNAKAN CITRA PLANET SCOPE DESA MARGASARI LAMPUNG TIMUR

Oleh

Bima Arif Hidayah

Penelitian ini bertujuan mengestimasi biomassa permukaan (*above-ground biomass*) mangrove di Desa Margasari, Kabupaten Lampung Timur, menggunakan citra satelit PlanetScope dan menganalisis korelasinya dengan indeks vegetasi. Mangrove berperan krusial sebagai penyimpan karbon (*blue carbon*), namun pemantauan biomassa secara konvensional (*ground-based*) memiliki keterbatasan biaya dan waktu. Citra PlanetScope dengan resolusi spasial 3 meter dan band spektral (termasuk *red edge* dan NIR) digunakan untuk menghitung empat indeks vegetasi: NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), GNDVI (*Green Normalized Difference Vegetation Index*), NDVIRE (*Normalized Difference Vegetation Index Red Edge*), dan NDRE (*Normalized Difference Red Edge*). Data lapangan biomassa diperoleh melalui pengukuran *non-destructive* pada 40 plot (30×30 m) dengan persamaan alometrik spesies-spesifik. Hasil penelitian menunjukkan total biomassa mangrove sebesar 16,48 ton (dari luas sampel 3,6 ha), dengan rata-rata 183,13 ton/ha, mengindikasikan kerapatan dan produktivitas ekosistem yang optimal. Konversi biomassa ke karbon mengungkap simpanan karbon sebesar 8,24 ton. Analisis regresi mengonfirmasi hubungan non-linear antara biomassa dan indeks vegetasi, di mana NDRE menjadi prediktor terbaik dengan model kubik ($R^2 = 0,726$). Hasil ini menegaskan (NDRE) dalam pemantauan biomassa mangrove skala luas, serta mendukung strategi konservasi dan rehabilitasi berbasis data untuk pengelolaan berkelanjutan ekosistem pesisir.

Kata kunci: Biomassa Mangrove, Planetscope, Indeks Vegetasi, NDRE, Karbon Biru, Desa Margasari.

ESTIMATION OF MANGROVE ABOVE-GROUND BIOMASS USING PLANET SCOPE IMAGERY IN MARGASARI VILLAGE, EAST LAMPUNG

By

Bima Arif Hidayah

This study aims to estimate mangrove above-ground biomass (AGB) in Margasari Village, East Lampung Regency, using PlanetScope satellite imagery and analyze its correlation with vegetation indices. Mangroves serve as critical blue carbon sinks, but conventional ground-based biomass monitoring faces cost and time limitations. PlanetScope imagery (3 m spatial resolution; spectral bands including red edge and NIR) was used to calculate four vegetation indices: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index), NDVIRE (Normalized Difference Vegetation Index Red Edge), and NDRE (Normalized Difference Red Edge). Field biomass data were collected non-destructively from 40 plots (30×30 m) using species-specific allometric equations. Results revealed a total mangrove biomass of 6.48 ton (sampled area: 3.6 ha), averaging 183.13 tons/ha, indicating optimal ecosystem density and productivity. Biomass-to-carbon conversion yielded a carbon stock of 8.24 tons. Regression analysis confirmed a non-linear relationship between biomass and vegetation indices, with NDRE as the strongest predictor (cubic model: $R^2 = 0.726$). These findings validate NDRE's advantage for large-scale mangrove biomass monitoring and support data-driven conservation/rehabilitation strategies for sustainable coastal management.

Keywords: Mangrove biomass, PlanetScope, vegetation indices, NDRE, blue carbon, Margasari Village.

**ESTIMASI BIOMASSA PERMUKAAN MANGROVE MENGGUNAKAN
CITRA PLANET SCOPE DESA MARGASARI LAMPUNG TIMUR**

Oleh

BIMA ARIF HIDAYAH

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA KEHUTANAN**

Pada

**Jurusan Kehutanan
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : **ESTIMASI BIOMASSA PERMUKAAN
MANGROVE MENGGUNAKAN CITRA PLANET
SCOPE DESA MARGASARI LAMPUNG TIMUR**

Nama : **Bima Arif Hidayah**

NPM : **2154151010**

Jurusan : **Kehutanan**

Fakultas : **Pertanian**



1. Komisi Pembimbing

Dr. Rudi Hilmanto, S.Hut., M.Si.
NIP 197807242016011003

Trio Santoso, S.Hut., M.Sc.
NIP 198503102017041002

2. Ketua Jurusan Kehutanan

Dr. Bainah Sari Dewi, S.Hut., M.P., IPM.
NIP 197310121999032001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua Komisi

: **Dr. Rudi Hilmanto, S.Hut., M.Si.**



Sekretaris Komisi

: **Trio Santoso, S.Hut., M.Sc.**



Penguji

Bukan Pembimbing

: **Dr. Arief Darmawan, S.Hut., M.Sc.**



Dekan Fakultas Pertanian
Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.
NIP. 196411181989021002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **01 Juli 2025**

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Bima Arif Hidayah

NPM : 2154151010

Jurusan : Kehutanan

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan sungguh-sungguh, bahwa skripsi saya yang berjudul:

“ESTIMASI BIOMASSA PERMUKAAN MANGROVE MENGGUNAKAN CITRA PLANET SCOPE DESA MARGASARI LAMPUNG TIMUR”

Adalah benar karya saya sendiri yang saya susun dengan mengikuti norma dan etika akademik yang berlaku. Selanjutnya, saya juga tidak keberatan apabila sebagian atau seluruh data pada skripsi ini digunakan oleh dosen dan/atau program studi untuk kepentingan publikasi. Jika di kemudian hari terbukti pernyataan saya tidak benar, saya menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar sarjana maupun tuntutan hukum.

Bandar Lampung, 01 Juli 2025
Yang membuat pernyataan,



Bima Arif Hidayah
NPM. 2154151010

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Bima Arif Hidayah. Lahir pada tanggal 18 Januari 2003 di Lampung Utara. Putra dari Bapak Maryono dan Ibu Lilik Aminah, dan merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan di TK Adi Luhung Lampung Utara pada tahun 2008-2009, SD Negeri 2 Abung Semuli Lampung Utara pada tahun 2009-2015, SMP Negeri 2 Abung Semuli pada tahun 2015-2018, dan SMA Negeri 15 Bandar Lampung pada tahun 2018-2021.

Pada tahun 2021, penulis melanjutkan pendidikannya dengan mengikuti jalur Seleksi Mandiri Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SMMPTN) dan diterima pada Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Selama menjadi mahasiswa di Universitas Lampung, Penulis tidak hanya aktif dalam kegiatan akademik namun juga aktif dalam kegiatan non-akademik. Penulis aktif mengikuti organisasi tingkat jurusan, yaitu Himpunan Mahasiswa Jurusan Kehutanan (Himasyulva) sebagai anggota pada tahun 2021-2023, hingga menjadi anggota bidang Penelitian dan Pengembangan Organisasi pada tahun 2024. Bidang akademik penulis mengikuti kegiatan EKSPEDISI SHOREA (Studi Hutan Observasi Eksplorasi) dengan judul “Analisis Keanekaragaman Jenis Kumbang Pada Berbagai Tipe Vegetasi di Taman Nasional Way Kambas” di Stasiun Penelitian Rawa Bunder, Lampung Timur, Lampung, pada tahun 2023. Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari di Desa Panca Warna, Kabupaten Mesuji pada Januari-Februari 2024. Pada tahun yang sama penulis mengikuti kegiatan Praktik Umum (PU) di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Getas, Blora, Jawa Tengah dan Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Wanagama, Gunung Kidul, Yogyakarta. Penulis aktif mengikuti kegiatan sosial, diantaranya *World Clean Up Day* (WCD) sebagai volunteer pada tahun 2023 dan 2024 di Pulau

Pasaran. Relawan dalam kegiatan *Asian Waterbird Census* pada tahun 2025. Selain itu, penulis mempublikasikan jurnal nasional dengan judul “Pengaruh Hubungan Indeks Vegetasi Dengan Biomassa Mangrove Di Desa Margasari kecamatan Labuhan Maringgai Kabupaten Lampung Timur” pada publikasi ilmiah Jurnal Seminar Nasional Konservasi pada tahun 2025.

“Karya tulis ini saya persembahkan untuk Bapak dan Ibu”

“Dunia boleh saja menahanku atau perlahan bongkar mimpiku”

KUPUNYA DOA IBU

(Tapi – Perunggu)

SANWACANA

Assalamu'alaikum Warrohmatullahi Wabarokatuh.

Alhamdulillahirrabil'alamiin,

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis mampu menyelesaikan skripsi ini dengan ikhlas dan tekun. Shalawat beserta salam semoga tetap tercurah kepada junjungan kita Nabi Besar Muhammad SAW, karena penulis mampu menyelesaikan skripsi dengan judul “Estimasi Biomassa Permukaan Mangrove Menggunakan Citra Planet Scope Desa Margasari Lampung Timur”, dan merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana (S1) Kehutanan di Universitas Lampung. Selama masa pendidikan, penulis mendapatkan banyak bimbingan dan bantuan, petunjuk, serta dukungan baik moral maupun materi yang diberikan oleh berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati penulis mengucapkan rasa hormat dan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., IPM., ASEAN Eng. selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
3. Ibu Dr. Bainah Sari Dewi, S.Hut., M.P., IPM., selaku Ketua Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Sugeng P. Hariyanto, M.S., selaku Pembimbing Akademik yang telah mengarahkan kegiatan kuliah dari awal sampai akhir.
5. Bapak Dr. Rudi Hilmanto, S.Hut., M.Si., selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan banyak arahan, bimbingan, nasihat, motivasi, dan segala bantuannya kepada penulis selama penulis menjalani proses skripsi.

6. Bapak Trio Santoso, S.Hut., M.Sc., selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, ilmu, motivasi, masukan, kritik dan saran kepada penulis dengan penuh kesabaran selama penyusunan skripsi.
7. Bapak Dr. Arief Darmawan, S.Hut., M.Sc., selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak arahan, motivasi, dan nasihat kepada penulis selama proses penyusunan skripsi.
8. Kepada seluruh bapak dan ibu dosen Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung yang telah memberikan wawasan dan ilmu pengetahuan kepada penulis selama masa perkuliahan, serta staff administrasi Jurusan Kehutanan yang membantu penulis.
9. Orang tua saya yaitu Ibunda tercinta Ibu Lilik Aminah dan ayahanda tercinta Bapak Maryono, berkat cinta dan kasih sayang yang tiada hentinya telah menjadi sumber kekuatan dan inspirasi dalam setiap langkah penulis. Terima kasih atas segala pengorbanan dan cinta yang telah diberikan membuat penulis mampu mencapai titik ini.
10. Teman seperbimbingan (Efraim Aldorinus Stefanus, Muhammad Rofi, Muhammad Agung Permana, dan Roni Candra) yang berproses bersama penulis dalam menyelesaikan dan memberikan banyak bantuan kepada penulis.
11. Saudara seperjuangan Angkatan 2021 (LABORIOSA) yang selalu memberikan dukungan, kebersamaan, dan rasa kekeluargaan tiada henti kepada penulis dari awal perkuliahan, saat ini, dan sampai seterusnya.
12. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu oleh penulis, yang telah banyak membantu selama perkuliahan dan proses skripsi ini.
13. **Terakhir, untuk diri saya sendiri** Bima Arif Hidayah, terimakasih atas segala kerja keras dan semangatnya sehingga tidak pernah menyerah semoga rasa lelah, khawatir dan takut yang tidak dibicarakan dihadiahi oleh kebahagiaan di depan.

Penulis menyadari bahwa di dunia ini tidak ada kata sempurna sama halnya skripsi ini. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat diperlukan dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan berguna bagi ilmu pengetahuan di masa yang akan datang.

Bandar Lampung, 2025

Penulis

Bima Arif Hidayah

DAFTAR ISI

	halaman
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Kerangka Pikiran.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Kondisi Umum Penelitian	6
2.2. Mangrove	7
2.3. Hutan Mangrove.....	8
2.4. Biomassa Mangrove.....	9
2.5. Estimasi Biomassa Mangrove	10
2.6. Planet SCOPE	11
2.7. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	12
2.8. NDRE (<i>Normalized Difference Red Edge</i>)	13
2.9. GNDVI (<i>Green Normalized Difference Vegetation Index</i>)	14
2.10. NDVIRE (<i>Normalized Difference Vegetation Index Red Edge</i>)	15
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	16
3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian	16
3.2. Alat dan Bahan	16
3.3. Batasan Penelitian	17
3.4. Jenis Data	17
3.4.1. Data Primer	17
3.4.2. Data Sekunder	18
3.5. Metode Pengumpulan Data	18
3.5.1. Ekstraksi Data Spasial.....	18
3.5.2. Observasi Lapangan	19
3.6. Analisis Data	19
3.6.1. Analisis Indeks Vegetasi.....	19
3.6.2. Analisis Biomassa Mangrove.....	21
3.6.3. Analisis Regresi	22

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1. Estimasi Biomassa Mangrove	24
4.2 Perhitungan Biomassa dan Indeks Vegetasi	28
4.3. Perbandingan Indeks Vegetasi.....	32
4.3.1 Analisis Regresi.....	32
V. KESIMPULAN DAN SARAN	36
5.1. Simpulan	36
5.2. Saran.....	36
DAFTAR PUSTAKA.....	38
LAMPIRAN.....	44

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Klasifikasi Kerapatan Vegetasi	20
2 Klasifikasi Kerapatan Vegetasi	20
3. Klasifikasi Kerapatan Vegetasi	20
4. Klasifikasi Kerapatan Vegetasi	21
5. Persamaan Alometrik untuk Menghitung Biomassa Pohon Mangrove ..	21
6. Parameter Biomassa dan Indeks Vegetasi	28
7. Model Regresi	32

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka Pikiran.....	5
2. Jenis Mangrove dan Jenis Akar Mangrove	7
3. Peta Lokasi Penelitian	16
4. Hubungan Indeks Vegetasi dan Biomassa.....	24
5. Hubungan Indeks Vegetasi dan Biomassa.....	25
6. Hubungan Indeks Vegetasi dan Biomassa.....	26
7. Hubungan Indeks Vegetasi dan Biomassa.....	27
8. Klasifikasi Indeks Vegetasi	29
9. Hubungan Indeks Vegetasi dan Biomassa.....	30

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Kategori Indeks Vegetasi dan Biomassa	45
2. Gambar Pencatatan.....	47
3. Gambar Pengukuran diameter pohon.....	47
4. Gambar Pengukuran Tinggi Pohon	48
5. Pengukuran Diameter Pohon	48
6. Gambar Jenis Mangrove	49
7. Gambar Jenis Mangrove	49
8. Gambar Jenis Mangrove	50
9. Gambar Jenis Mangrove	50
10. Tabel Model Summary and Parameter Estimates	51
11. Tabel Biomassa dan Indeks vegetasi.....	53

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Mangrove adalah komunitas tumbuhan yang hidup di daerah pasang surut air laut di pantai tropis yang mampu tumbuh di perairan asin dan payau (Prasetyo *et al.*, 2023). Mangrove mempunyai kemampuan adaptasi yang sedemikian rupa sehingga mampu hidup di lingkungan berkadar garam tinggi seperti lingkungan laut. Jenis-jenis mangrove yang ada di Indonesia antara lain *Rhizophora mucronata*, *Rhizophora apiculate*, *Avicennia marina*, *Avicennia alba*, *Sonneratia alba*, *Sonneratia caseolaris*, *Bruguiera gymnorhiza*, *Bruguiera cylindrica*, *Xylocarpus granatum*, *Xylocarpus moluccensis*, *Nypa fruticans*. Salinitas tinggi bisa hidup berbagai macam jenis tumbuhan mangrove, namun yang mampu hidup bertoleransi terhadap kisaran salinitas yang sangat besar adalah *Avicennia* (Syah, 2020). Mangrove dapat hidup pada salinitas tinggi, syarat tumbuh lainnya yaitu mangrove harus tumbuh di wilayah tropis dan subtropis antara 32 LU–38 LS, mangrove harus mendapat penyinaran matahari penuh, dan habitat mangrove harus memiliki suhu di atas 22°C. dan curah hujan tinggi (2500 – 3000 mm/th). Habitat mangrove diantaranya yaitu pesisir pantai teluk yang terlindung, pulau di lepas pantai, laguna, muara sungai, delta, rawa. Habitat-habitat ini menyediakan kondisi yang ideal untuk pertumbuhan mangrove.

Ekosistem mangrove diperkirakan seluas 17 juta hektar di seluruh dunia saat ini. Indonesia memiliki ekosistem mangrove terbesar dan terluas di dunia, seluas 4,2 juta hektar. Kawasan hutan mangrove yang tersisa terdiri dari 3,2 juta hektar hutan mangrove (Immanuel Sinabang *et al.*, 2022). Ekosistem mangrove di Indonesia mencakup wilayah yang luas dan memberikan manfaat ekologi dan ekonomi yang penting (Koresponden *et al.*, 2023). Manfaat ekologi yaitu melindungi garis pantai dari abrasi dan intrusi air laut, sebagai tempat berkembang

baik bagi spesies laut, dan menawarkan produk hutan yang berharga (Hirmawan *et al.*, 2020).

Hutan mangrove mampu menyerap CO² dan mengubahnya menjadi karbohidrat pada saat proses fotosintesis, kemudian menyimpannya dalam bentuk biomassa (Suryono *et al.*, 2018). Simpanan karbon di hutan mangrove lebih tinggi dibandingkan simpanan karbon pada tipe hutan lainnya, simpanan karbon terbesar terdapat pada sedimen mangrove (Islamiah *et al.*, 2022). Biomassa dapat dibedakan menjadi dua kategori yaitu biomassa di atas tanah (batang, cabang, ranting, daun, dan buah) dan biomassa didalam tanah (akar). Besaran suatu biomassa bisa ditentukan oleh diameter, tinggi tanaman, berat jenis dan kesuburan tanah (Heriyanto dan Subiandono, 2016). Mangrove merupakan salah satu ekosistem kunci dalam mitigasi perubahan iklim. Oleh karena itu, penting untuk memahami dan memantau biomassa mangrove di wilayah tertentu, khususnya hutan mangrove di Desa Margasari.

Hutan mangrove di Desa Margasari merupakan suatu ekosistem yang menyimpan potensi baik secara fisik dan ekologi (Safe'i, 2020). Hutan mangrove di Desa Margasari dan wilayah pesisir Lampung Timur pada umumnya menghadapi berbagai ancaman diantaranya konversi lahan untuk tambak, permukiman, dan aktivitas manusia lainnya. Ancaman tersebut dapat menyebabkan penurunan biomassa, hilangnya biodiversitas, dan meningkatnya emisi karbon. Estimasi biomassa mangrove secara berkala diperlukan untuk mengetahui tingkat keberlangsungan dan dampak perubahan lahan terhadap ekosistem ini. Data biomassa mangrove dapat mendukung pengelolaan wilayah pesisir yang lebih baik, khususnya dalam menyusun strategi konservasi dan rehabilitasi hutan mangrove.

Data biomassa didapatkan melalui pemantauan biomassa mangrove secara langsung (Hirmawan *et al.*, 2020). Permasalahan yang sering terjadi yaitu sulit untuk melakukan pemantauan biomassa secara langsung di lapangan atau sering disebut sebagai *ground-based measurement*. *Ground-based measurement* merupakan metode pengukuran biomassa hutan yang dilakukan dengan mendata langsung komponen vegetasi di lokasi penelitian. Metode *Ground-based measurement* memiliki kelemahan karena keterbatasan waktu, tenaga, dan biaya, sehingga diperlukan metode yang lebih efisien dan skalabel (Alviana *et al.*, 2023).

Metode yang diperlukan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan menggunakan Citra satelit dengan resolusi yang baik. Citra satelit PlanetScope, dengan resolusi spasial 3 meter dan frekuensi perekaman harian, menawarkan potensi besar dalam memetakan kerapatan dan struktur mangrove secara detail. Keunggulan ini menjadikannya lebih unggul dibandingkan medium-resolution, seperti Landsat atau Sentinel-2 khususnya di area pesisir yang kompleks seperti Desa Margasari, Lampung Timur, desa tersebut memiliki tutupan mangrove bercampur dengan vegetasi lain dan permukiman. Kemampuan Planet Scope dalam menyediakan data spektral pada band Near-Infrared (NIR) dan *Red Edge* memungkinkan penghitungan indeks vegetasi (misalnya NDVI, GNDVI) yang berkorelasi dengan parameter biofisik mangrove, seperti kerapatan kanopi dan biomassa (Hamdi *et al.*, 2024).

Pemanfaatan citra resolusi tinggi untuk estimasi mangrove permukaan di wilayah pesisir terutama di Kabupaten Lampung Timur masih terbatas, sehingga perlu eksplorasi lebih mendalam untuk memvalidasi akurasi. Pada dasarnya penelitian ini menunjukkan adanya perbaruan dari penelitian - penelitian sebelumnya. Pemantauan biomassa mangrove yang berbasis citra satelit masih belum menggunakan sumber data yang memiliki kualitas resolusi spasial tinggi. Terdapat kebutuhan studi spesifik di ekosistem mangrove, yang sangat bermanfaat sebagai sumber data akurat dan valid dan dapat dijadikan dasar pengambilan keputusan pengelolaan sumber daya alam dan konservasi hutan mangrove sehingga penelitian ini penting untuk dilakukan.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Berapa potensi biomassa permukaan dan karbon tersimpan pada hutan mangrove di Desa Margasari Kecamatan Labuhan Maringgai Kabupaten Lampung Timur.
2. Apa korelasi antara biomassa mangrove dengan indeks vegetasi pada hutan mangrove di Desa Margasari Kecamatan Labuhan Maringgai Kabupaten Lampung Timur.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah sebagai berikut:

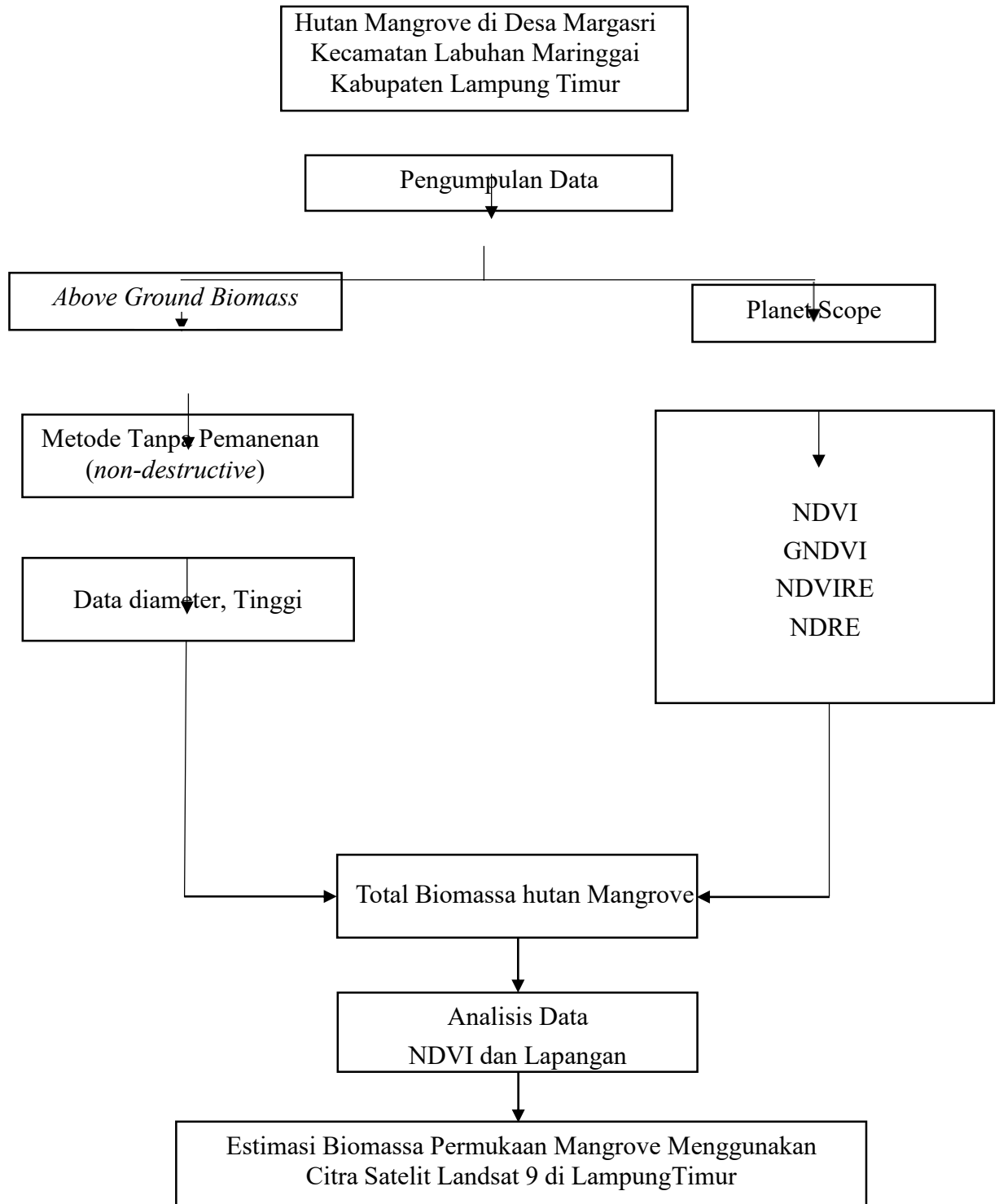
1. Estimasi biomassa mangrove permukaan di Desa Margasari Kecamatan Labuhan Maringgai Kabupaten Lampung Timur.
2. Mengetahui hubungan biomassa mangrove dengan indeks vegetasi di Desa Margasari Kecamatan Labuhan Maringgai Kabupaten Lampung Timur.

1.4. Kerangka Pikiran

Hutan mangrove mempunyai fungsi yaitu sebagai pencegah pelepasan karbon dengan cara menyerap atau mengikat karbondioksida dan menyimpan dalam bentuk biomassa (Eddy *et al.*, 2019). Estimasi karbon yang tersimpan pada hutan mangrove dapat diketahui melalui perhitungan besaran biomassa tanaman (Farahdita *et al.*, 2021). Biomassa tanaman dapat diketahui dengan cara tidak merusak bagian tanaman (*non destructive*) (Paradika *et al.*, 2021).

Metode *non destructive* digunakan untuk mengukur biomassa pohon secara langsung yang biasanya menggunakan persamaan allometrik. Data yang diperoleh dari pengukuran langsung dilapangan digunakan untuk memvalidasi hasil estimasi biomassa yang dilakukan dengan memanfaatkan analisis estimasi biomassa pohon dengan menggunakan indeks NDVI (*Normalized Difference Vegetation*), GNDVI (*Green Normalized Difference Vegetation Index*), NDVIRE (*Normalized Difference Vegetation Index Red Edge*), NDRE (*Normalized Difference Red Edge Index*) (Alviana *et al.*, 2023).

Indeks vegetasi yang dirancang untuk mengoptimalkan sensitivitas terhadap vegetasi dengan kerapatan tinggi serta meminimalkan pengaruh kabut, awan tipis, dan latar belakang tanah (Ariani *et al.*, 2020). Citra satelit yang digunakan adalah citra landsat 9. Citra Planet Scope merupakan salah satu satelit bumi yang menyediakan data citra dengan resolusi spasial yang tinggi (Prasetyo *et al.*, 2023). Setelah mendapatkan data dari hasil kedua metode tersebut di analisis menggunakan beberapa pengujian seperti uji regresi *estimation curve* atau Kurva estimasi membantu mengidentifikasi hubungan fungsional (linear, non-linear, atau berbasis *machine learning*).



Gambar 1. Kerangka Pikiran

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kondisi Umum Penelitian

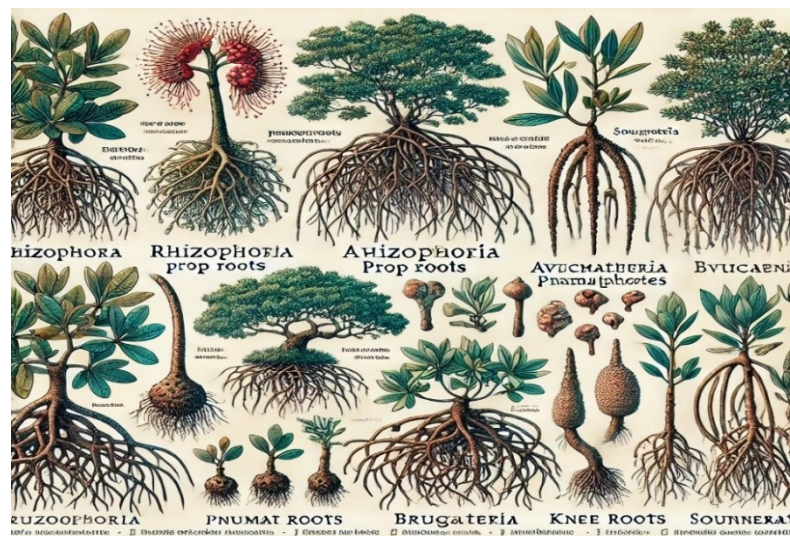
Desa Margasari terletak di Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur, yang berada di wilayah pesisir pantai timur Provinsi Lampung. Desa tersebut memiliki luas sekitar 1.702 hektar dengan jumlah penduduk sebanyak 7.627 jiwa yang tersebar di 12 dusun (Asiva Noor Rachmayani, 2015). Desa Margasari dikenal sebagai salah satu lokasi rehabilitasi hutan mangrove yang penting di Lampung Timur, luas hutan mangrove yang mencapai 817,59 hektar pada tahun 2017 (Sugiarti *et al.*, 2020). Pada tahun 2017-2020 luasan hutan mangrove Margasari mengalami penurunan sebesar 10,75% dan pada tahun 2017-2020 mengalami penurunan sebesar 42,98% (Qurniati dan Tsani, 2024). Faktor yang dapat mempengaruhi turunnya luasan lahan hutan mangrove adalah aktivitas manusia, kegiatan pemanenan kayu, perambahan, perubahan fungsi penggunaan lahan, bencana alam, dan adanya abrasi pantai.

Desa Margasari di Kecamatan Labuhan Maringgai, Lampung Timur, memiliki akses infrastruktur yang menjadi perhatian khusus pemerintah. Akses jalan di wilayah tersebut mengalami kerusakan cukup parah, yang berdampak negatif pada mobilitas warga, terutama terkait kegiatan ekonomi dan penghubung antar desa. Upaya yang dilakukan dan paling signifikan yaitu perbaikan jalan sepanjang 6,5 kilometer yang menghubungkan Desa Labuhan Maringgai dan Desa Margasari, termasuk pembangunan drainase untuk mencegah kerusakan jalan akibat genangan air. Perbaikan ini meningkatkan mobilitas masyarakat dan membuka akses yang lebih baik ke wilayah pesisir dan hutan mangrove yang menjadi sumber penghidupan utama bagi sebagian besar penduduk, seperti nelayan dan petani tambak. Kemudahan akses dapat mendukung kegiatan rehabilitasi

mangrove, termasuk pengangkutan bibit untuk program penanaman ulang serta edukasi masyarakat terkait pelestarian lingkungan (Asiva Noor Rachmayani, 2015).

2.2. Mangrove

Mangrove adalah komunitas tumbuhan yang hidup di daerah pasang surut air laut di pantai tropis yang mampu tumbuh di perairan asin dan payau (Murniati *et al.*, 2017). Mangrove mempunyai kemampuan adaptasi yang sedemikian rupa sehingga mampu hidup di lingkungan berkadar garam tinggi seperti lingkungan laut. Jenis-jenis mangrove yang ada di Indonesia antara lain *Rhizophora mucronata*, *Rhizophora apiculata*, *Avicennia marina*, *Avicennia alba*, *Sonneratia alba*, *Sonneratia caseolaris*, *Bruguiera gymnorhiza*, *Bruguiera cylindrica*, *Xylocarpus granatum*, *Xylocarpus moluccensis*, *Nypa fruticans* (Harefa *et al.*, 2023). Mangrove memiliki adaptasi khusus untuk hidup di tanah berlumpur dan kondisi salinitas dengan menggunakan Akar Napas (*Pneumatofor*), Akar Penunjang (*Prop Roots*), dan Kelenjar Garam. *Avicennia* memiliki akar napas yang berfungsi mengambil oksigen langsung dari udara untuk membantu pernapasan akar di tanah anaerobik (minim oksigen) dan Akar Penunjang (*Prop Roots*) yang dimiliki *Rhizophora*, akar penunjang dapat menstabilkan pohon di tanah berlumpur dan memperluas area untuk pernapasan (Island dan Tengah, 2024). Beberapa jenis seperti *Avicennia* juga memiliki kelenjar garam kelenjar ini terletak pada daun mangrove yang berfungsi untuk melepaskan garam yang berlebih seperti yang disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Jenis Mangrove dan Jenis Akar Mangrove

Gambar 2 menggambarkan berbagai jenis mangrove beserta sistem akar yang berbeda. Spesies seperti *Rhizophora* dengan akar prop roots, *Avicennia* dengan pneumatophores, *Bruguiera* dengan lutut akar, dan *Sonneratia* dengan adaptasi akar khasnya. Spesies akar tersebut memiliki ciri khas yang memungkinkan mereka bertahan di lingkungan pesisir dengan kondisi salinitas dan pasang surut yang berubah. Peranan penting mangrove terhadap fungsi ekologisnya yaitu dalam mendukung konservasi laut dan pembangunan wilayah pesisir. Fungsi dan manfaat mangrove telah banyak diketahui, baik sebagai tempat pemijahan ikan di perairan, pelindung daratan dari abrasi oleh ombak, pelindung daratan dari tiupan angin, penyaring intrusi air laut ke daratan dan kandungan logam berat yang berbahaya bagi kehidupan, tempat singgah migrasi burung, dan sebagai habitat satwa liar serta manfaat langsung lainnya bagi manusia (Lita, 2017).

2.3. Hutan Mangrove

Hutan mangrove merupakan suatu kawasan yang berfungsi sebagai penghubung antara lautan dan daratan (Latupapua *et al.*, 2023). Hutan mangrove memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan ekologi karena memiliki akar yang dapat menahan erosi pantai dan menyediakan habitat bagi berbagai spesies flora dan fauna, hutan mangrove memiliki manfaat yang sangat beragam dan krusial bagi kelangsungan hidup berbagai spesies serta bagi manusia. Manfaat utamanya yaitu sebagai perlindungan terhadap garis pantai dari erosi, karena akar mangrove yang kuat dapat menahan gelombang dan arus laut (Suryono *et al.*, 2018).

Mangrove memiliki peran penting dalam mitigasi perubahan iklim, pohon-pohon mangrove dapat menyerap dan menyimpan karbon dalam jumlah besar, bahkan lebih banyak dibandingkan hutan tropis lainnya (Azizah *et al.*, 2024). Proses tersebut dikenal sebagai *karbon blue* di mana ekosistem pesisir ini membantu menurunkan konsentrasi karbon dioksida di atmosfer. Hutan mangrove menghadapi berbagai ancaman yang dapat merusak kelestarian, salah satu ancaman terbesar adalah konversi lahan untuk pembangunan pemukiman, perkebunan, serta industri, yang menyebabkan hilangnya habitat alami bagi banyak spesies dan juga pengurangan lahan hutan mangrove (Wardhani, 2017).

Penggunaan penginderaan jauh (*remote sensing*) dalam konservasi mangrove telah menjadi salah satu alat yang efektif untuk mengatasi permasalahan hutan mangrove dengan memantau dan mengelola ekosistem ini secara lebih efisien (Suroso, 2022). Teknologi penginderaan jauh memungkinkan pemetaan dan pemantauan perubahan luas hutan mangrove dalam skala besar dengan menggunakan citra satelit atau drone (Hadi Pranata *et al.*, 2020). Analisis citra satelit multispektral dilakukan para ilmuwan untuk memantau kondisi vegetasi mangrove, mendeteksi kerusakan atau degradasi ekosistem, serta mengidentifikasi wilayah yang membutuhkan rehabilitasi (Zuhdi dan Pribadi, 2024). Metode ini sangat berguna untuk memetakan kawasan mangrove yang sulit dijangkau secara fisik, memberikan data yang akurat dan cepat dalam upaya restorasi, serta membantu pengambilan keputusan terkait kebijakan konservasi.

2.4. Biomassa Mangrove

Biomassa mangrove adalah total massa organisme hidup yang terdapat dalam ekosistem mangrove, termasuk bagian di atas permukaan tanah seperti batang, cabang, daun, serta bagian bawah tanah seperti akar (Mangore *et al.*, 2022). Pemanfaatan biomassa mangrove sebagai penyimpan karbon juga menjadi bagian penting dalam inisiatif global seperti skema perdagangan karbon dan program mitigasi perubahan iklim berbasis alam. Negara-negara di dunia memanfaatkan potensi penyimpanan karbon mangrove untuk mendukung komitmen mereka dalam mengurangi emisi karbon melalui kontribusi yang ditetapkan secara nasional (NDC) dalam perjanjian Paris (Ratna Poerwantika *et al.*, 2022). Pengelolaan mangrove yang berkelanjutan, seperti restorasi dan reboisasi, dapat meningkatkan stok karbon sekaligus memberikan manfaat tambahan bagi masyarakat lokal melalui ekowisata, perikanan, dan jasa lingkungan lainnya. Biomassa mangrove bukan hanya solusi ekologis tetapi juga memiliki nilai ekonomi strategis dalam menghadapi krisis iklim global (Mangore *et al.*, 2022).

Kondisi biomassa mangrove sangat bergantung pada keberlanjutan pengelolaannya. Kawasan mangrove banyak mengalami degradasi, mengurangi kapasitasnya untuk menyerap dan menyimpan karbon (Azizah *et al.*, 2024). Negara-negara di dunia telah berhasil melakukan restorasi mangrove yang meningkatkan

kembali biomassa yang hilang dalam konteks global, mangrove dianggap sebagai salah satu solusi berbasis alam (*nature-based solutions*) untuk mengatasi dampak perubahan iklim (Chee *et al.*, 2021). Pemantauan yang akurat terhadap biomassa mangrove masih menjadi tantangan karena keterbatasan teknologi dan data, maka dari itu adanya estimasi biomassa mangrove sangat penting untuk mempermudah pengelolaan dan konservasi ekosistem mangrove, terutama dalam mengukur potensi penyimpanan karbon dan pemanfaatan lainnya. Metode *allometric equations*, dan penginderaan jauh (*remote sensing*) digunakan untuk mengelola dan menghitung biomassa secara akurat tanpa merusak lingkungan (Farhaby *et al.*, 2023). Data estimasi biomassa memungkinkan identifikasi kawasan dengan stok karbon tinggi yang perlu dilindungi atau direstorasi, serta membantu perencanaan pemanfaatan yang berkelanjutan.

2.5. Estimasi Biomassa Mangrove

Estimasi biomassa mangrove adalah upaya untuk menghitung total massa organisme hidup yang terdapat dalam ekosistem mangrove, baik di atas permukaan tanah (batang, daun, cabang) maupun di bawah permukaan tanah (akar) (Ahmed *et al.*, 2023). Proses ini bertujuan untuk memberikan gambaran kuantitatif tentang kapasitas penyimpanan karbon, kesehatan ekosistem, serta potensi produktivitas kawasan mangrove. Estimasi ini dapat dilakukan dengan berbagai metode, seperti pengukuran langsung menggunakan rumus *allometric equations*, atau metode tidak langsung seperti penginderaan jauh dan pemodelan berbasis data (Farhaby *et al.*, 2023).

Estimasi biomassa mangrove memiliki beragam kegunaan, terutama dalam mendukung program konservasi dan mitigasi perubahan iklim (Fitria, 2021). Hasil estimasi dapat digunakan untuk menentukan potensi penyimpanan karbon (*blue carbon*) selain itu, data biomassa juga penting untuk perencanaan tata ruang pesisir, restorasi ekosistem mangrove, dan perlindungan keanekaragaman hayati. Estimasi biomassa bermanfaat bagi masyarakat lokal untuk meningkatkan kesadaran akan pentingnya pengelolaan mangrove secara berkelanjutan (Hafli dan Samiaji, 2024).

Pengelolaan mangrove dapat dilakukan secara efektif dan berkelanjutan dengan pendekatan estimasi biomassa mangrove dilakukan melalui serangkaian

langkah yang terukur. Pertama, data dasar seperti diameter batang, tinggi pohon, dan kepadatan kayu dikumpulkan dari lapangan. Selanjutnya, data ini diolah menggunakan *allometric equations* untuk menghitung biomassa per pohon atau per area untuk area yang lebih luas, teknologi penginderaan jauh seperti citra satelit atau drone dapat digunakan untuk mempercepat proses estimasi (Farhaby *et al.*, 2023). Hasil estimasi ini kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi potensi karbon, area kritis yang membutuhkan rehabilitasi, serta sebagai dasar pengambilan kebijakan atau pelaporan dalam program lingkungan global

Keunggulan utama estimasi biomassa mangrove adalah kemampuannya memberikan data yang akurat untuk memahami kondisi ekosistem mangrove (Majene dan Carong, 2023). Estimasi biomassa digunakan untuk menentukan stok karbon yang tersimpan, mengidentifikasi tingkat degradasi, dan memetakan potensi kawasan yang layak untuk restorasi. Selain itu, estimasi ini dapat dilakukan tanpa merusak ekosistem, terutama dengan teknologi modern seperti drone dan satelit, sehingga lebih efisien dan ramah lingkungan (Raynaldo *et al.*, 2022). Keunggulan lainnya adalah fleksibilitas metode yang bisa disesuaikan dengan skala wilayah dan kebutuhan pengelolaan.

2.6. PlanetScope

Penggunaan citra satelit resolusi tinggi seperti PlanetScope dalam estimasi biomassa mangrove telah menjadi fokus penelitian terkini seiring dengan kebutuhan pemantauan ekosistem pesisir yang akurat dan berkelanjutan. Studi oleh (Andakke dan Tarya, 2022) menyatakan bahwa keunggulan Planet Scope dengan resolusi spasial 3 meter dalam mengidentifikasi tutupan mangrove yang heterogen, terutama di area dengan fragmentasi tinggi. Citra Sentinel-2 (resolusi 10–20 meter) dibandingkan dengan Planet Scope mampu membedakan kanopi individu mangrove dan vegetasi sekunder, sehingga mengurangi kesalahan klasifikasi pada wilayah pesisir yang kompleks (Prasetyo *et al.*, 2023).

Aspek spektral PlanetScope terutama band *red edge* (705–745 nm) dan near-infrared (NIR), menjadi basis pengembangan indeks vegetasi seperti NDVIRE dan NDRE yang sensitif terhadap parameter biofisik mangrove. Penelitian terbaru oleh (Hambali *et al.*, 2022) menunjukkan bahwa NDVIRE dari Planet Scope memiliki

korelasi kuat ($R^2 = 0,78$) dengan biomassa mangrove karena kemampuannya menangkap variasi klorofil pada kanopi padat. Sementara itu, studi komparatif oleh mengungkapkan bahwa kombinasi NDVI, NDRE, dan tekstur citra Planet Scope menghasilkan model estimasi biomassa (Prasetyo *et al.*, 2023).

Pengurangan *machine learning* semakin dominan dalam analisis data Planet Scope untuk estimasi biomassa mangrove dengan akurasi $R^2 = 0,85$. Pendekatan ini mengatasi keterbatasan model regresi linear yang sering gagal menangkap hubungan non-linear antara variabel spektral dan di Indonesia mengingatkan bahwa validasi lapangan tetap krusial, terutama di wilayah seperti Desa Margasari yang memiliki kerapatan mangrove bervariasi akibat aktivitas antropogenik. Penelitian sebelumnya oleh (Hirmawan *et al.*, 2020) mengandalkan citra Sentinel-2, sehingga kurang mampu memetakan variasi biomassa skala lokal. Studi ini mengidentifikasi celah literatur dalam pemanfaatan resolusi tinggi Planet Scope untuk ekosistem mangrove Indonesia, yang seringkali memiliki karakteristik spesifik akibat pengaruh sedimentasi dan pasang-surut. Penelitian di Desa Margasari tidak hanya mengisi celah metodologis tetapi juga berkontribusi pada basis data nasional untuk mendukung target restorasi mangrove seluas 600.000 hektar yang dirancang oleh pemerintah Indonesia.

2.7. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) adalah indeks yang digunakan dalam penginderaan jauh untuk mengukur tingkat kepadatan dan kesehatan vegetasi di suatu area berdasarkan pantulan cahaya merah dan inframerah dekat (NIR). Indeks tersebut digunakan dalam pemantauan lingkungan, pertanian, dan pengelolaan sumber daya alam karena kemampuannya menyediakan data kuantitatif tentang kondisi tanaman di wilayah yang luas (Latupapua *et al.*, 2023). NDVI memungkinkan perhitungan biomassa permukaan (*above-ground biomass*) dengan mengukur perbedaan refleksi antara cahaya merah dan inframerah dekat, yang berkaitan erat dengan kepadatan dan kesehatan vegetasi. NDVI menghasilkan nilai yang mencerminkan kondisi fotosintesis dan kandungan klorofil tanaman, yang sering kali dapat dihubungkan dengan jumlah biomassa di wilayah tersebut.

Sehingga, semakin tinggi nilai NDVI maka semakin tinggi pula potensi biomassa yang ada dalam pemantauan biomassa hutan (Pettorelli *et al.*, 2016).

NDVI digunakan sebagai metode non-destruktif untuk memperkirakan volume dan kepadatan vegetasi tanpa perlu intervensi langsung. Satelit seperti Landsat dan Sentinel menyediakan data NDVI yang sering digunakan untuk memetakan dan memantau perubahan biomassa di kawasan hutan. Citra NDVI yang dikombinasikan dengan model matematis atau algoritma khusus, para peneliti dapat memprediksi biomassa dengan cukup akurat di wilayah yang luas. Metode ini tidak hanya efektif untuk skala besar tetapi juga lebih efisien dibandingkan dengan metode pengukuran lapangan yang membutuhkan waktu dan biaya lebih tinggi (Huang *et al.*, 2021). Penggunaan NDVI untuk mengukur biomassa juga memiliki keterbatasan, terutama dalam lingkungan yang sangat heterogen atau di area dengan kanopi yang sangat rapat. Misalnya, ketika NDVI digunakan di hutan lebat, nilai yang diperoleh bisa kurang akurat karena sinyal reflektansi yang diterima sensor satelit tidak hanya berasal dari lapisan vegetasi atas tetapi juga mencakup elemen bawah kanopi atau permukaan tanah. Meskipun demikian, dengan teknik pengolahan data yang tepat dan penggunaan indeks vegetasi lain sebagai pendukung, NDVI tetap menjadi alat yang penting dan andal untuk estimasi biomassa dalam penginderaan jauh

2.8. NDRE (*Normalized Difference Red Edge*)

Indeks vegetasi NDRE (*Normalized Difference Red Edge*) merupakan satu indeks spectral yang digunakan untuk mengukur kesehatan dan kandungan klorofil vegetasi yang khususnya pada fase pertumbuhan menengah hingga lanjut (Tabur *et al.*, 2020). NDRE dikembangkan sebagai penyempurnaan dari NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), dengan memanfaatkan pita *red edge* yang terletak di antara pita merah (*red*) dan pita inframerah dekat (*near-infrared*/NIR). Pita *red edge* ini sangat sensitif terhadap perubahan kadar klorofil daun dan struktur kanopi NDRE dapat digunakan untuk mengevaluasi perbedaan kondisi fisiologis antar spesies pohon atau antara strata tegakan, sehingga menjadi alat yang penting dalam pengelolaan sistem yang berkelanjutan berbasis keanekaragaman hayati (Syah, 2020).

2.9. GNDVI (*Green Normalized Difference Vegetation Index*)

GNDVI (*Green Normalized Difference Vegetation Index*) merupakan modifikasi dari NDVI dengan menggantikan band merah (*red*) pada formula NDVI dengan band hijau (*green*), sehingga formula GNDVI dinyatakan sebagai $(\text{NIR} - \text{Green}) / (\text{NIR} + \text{Green})$. Indeks ini memanfaatkan band hijau (520–600 nm) dan NIR (780–860 nm) pada citra Planet Scope untuk mengukur respons spektral vegetasi, terutama sensitif terhadap kandungan klorofil dan struktur daun. GNDVI banyak digunakan dalam pemantauan kesehatan vegetasi padat seperti mangrove karena kemampuannya mendeteksi perubahan fisiologis, seperti stres akibat salinitas atau defisiensi nutrisi, lebih cepat dibandingkan ekosistem mangrove Vietnam menunjukkan bahwa GNDVI memiliki korelasi signifikan dengan biomassa ($R^2 = 0,68$), menjadikannya alat penting dalam estimasi stok karbon pesisir (Cahyono *et al.*, 2022).

Keunggulan GNDVI terletak pada stabilitasnya di lingkungan lembap dan kemampuan penetrasi kanopi vegetasi. Band hijau pada GNDVI relatif resisten terhadap hamburan atmosferik (*aerosol scattering*), sehingga cocok untuk wilayah tropis seperti Indonesia yang sering berkabut (Wang *et al.*, 2021). Selain itu, band hijau mampu menembus lapisan kanopi mangrove yang rapat, memungkinkan deteksi variasi klorofil di bawah permukaan daun (Garcia *et al.*, 2023). Penelitian Pham *et al.* (2023) di Thailand membuktikan bahwa GNDVI dari citra Planet Scope menghasilkan akurasi 15% lebih tinggi dalam memetakan kerapatan mangrove dibandingkan NDVI, terutama di area dengan struktur kanopi multilayer. Kombinasi resolusi tinggi PlanetScope dan sensitivitas GNDVI memungkinkan pemantauan temporal perubahan biomassa bulanan, yang krusial untuk evaluasi program restorasi.

GNDVI memiliki keterbatasan terutama di area mangrove dengan substrat berlumpur atau tutupan bawah (*understory*) yang dominan. Refleksi band hijau dapat tercampur dengan pantulan dari lumpur atau air, menyebabkan overestimasi nilai vegetasi. Studi terkini merekomendasikan integrasi GNDVI dengan indeks berbasis *red edge* (seperti NDRE) untuk mengatasi hal tersebut. Desa Margasari dilakukan pendekatan hybrid untuk diterapkan dengan meminimalkan bias sekaligus memaksimalkan akurasi model, menjadikan GNDVI sebagai komponen

kunci dalam strategi pemantauan mangrove berbasis penginderaan jauh (Cahyono *et al.*, 2022).

2.10. NDVIRE (*Normalized Difference Vegetation Index Red Edge*)

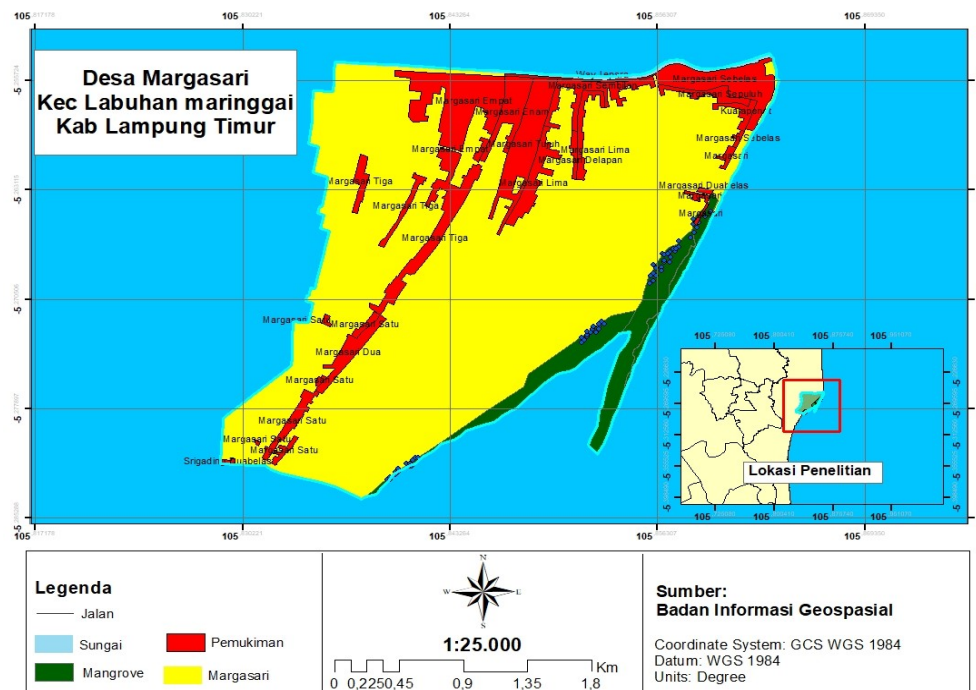
NDVIRE (*Normalized Difference Vegetation Index Red Edge*) adalah indeks vegetasi yang memanfaatkan band tepi merah (*red edge*) sebagai pengganti band merah pada NDVI konvensional. Formula NDVIRE dinyatakan sebagai $(\text{NIR} - \text{Red Edge}) / (\text{NIR} + \text{Red Edge})$, dimana band *red edge* Planet Scope (705–745 nm) dan NIR (780–860 nm) digunakan untuk menghitung nilai indeks. Band *red edge* berada pada panjang gelombang 700–730 nm, yang sensitif terhadap perubahan kandungan klorofil dan struktur daun, sehingga NDVIRE efektif untuk menganalisis vegetasi dengan kanopi padat seperti mangrove. Indeks ini banyak diaplikasikan dalam studi biomassa karena kemampuannya mendeteksi variasi fisiologis vegetasi yang tidak tertangkap oleh NDVI atau GNDVI, terutama di lingkungan dengan kepadatan kanopi tinggi (Ekawati dan Nurrochmat, 2018).

Kelebihan utama NDVIRE terletak pada sensitivitasnya terhadap kondisi fisiologis vegetasi dan ketahanannya terhadap interferensi atmosfer. Band *red edge* mampu menembus lapisan kanopi mangrove yang rapat, sehingga memberikan informasi lebih detail tentang kesehatan daun di strata bawah. Selain itu, band ini kurang terpengaruh oleh hamburan aerosol dibandingkan band merah (Syamsualam dan Hidayat, 2022). Meski demikian, NDVIRE memiliki keterbatasan, seperti ketergantungan pada ketersediaan band *red edge* yang tidak dimiliki semua sensor satelit. Namun, PlanetScope menyediakan band ini, sehingga cocok untuk penelitian di Desa Margasari. Tantangan lain muncul di area mangrove dengan substrat berlumpur atau tutupan bawah (*understory*) yang dominan, di mana pantulan band *red edge* dapat tercampur dengan latar belakang non-vegetasi (Suroso, 2022).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian di Hutan Mangrove Desa Margasari, Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur. Waktu penelitian ini dilakukan pada bulan Januari-Maret tahun 2025.



Gambar 3. Peta Lokasi Penelitian

3.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Tali tambang yang digunakan untuk membuat plot 20m x 20m untuk menentukan kelurusan plot
2. Pita meter untuk mengukur diameter tegakan mangrove

3. *Laser Distance Meter* yang digunakan untuk mengukur tinggi pohon dan luas tajuk
4. ArGIS versi 10.1 yang digunakan untuk pengolahan data
5. SPSS versi 27 untuk dilakukan uji regresi dan uji akurasi

Sedangkan Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu *Tally Sheet* dan citra *planetscope* dengan tanggal akuisisi 12 mei 2025, memiliki resolusi spasial 3 m, resolusi spektral 4 band (Blue, Green, Red, NIR), serta resolusi temporal harian.

3.3. Batasan Penelitian

Batasan penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Pohon yang di survei kelompok jenis tumbuhan yang termasuk jenis mangrove.
2. Penelitian ini diarahkan pada karbon tersimpan pada tegakan
3. Pohon yang diukur minimal memiliki diameter 5 cm.
4. Pengambilan data pohon untuk biomassa pohon dilakukan dengan metode non destructive

3.4. Jenis Data

Penelitian ini menggunakan 2 jenis data yaitu data primer dan data sekunder.

3.4.1. Data Primer

Data primer merupakan informasi yang dikumpulkan secara langsung dari sumber pertama untuk dianalisis untuk menjawab permasalahan atau tujuan penelitian. Data primer pada penelitian ini berupa biomassa mangrove yang diperoleh melalui pengukuran (DBH) dan tinggi pohon, biomassa per pohon diestimasi menggunakan persamaan alometrik spesifik spesies (Fauzi *et al.*, 2021), Pengolahan indeks vegetasi seperti NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), NDVIRE (*Normalized Difference Vegetation Index Red Edge*), NRE (*Normalized Difference Red Edge Index*) dan GNDVI (*Green Normalized Difference Vegetation Index*) dari citra satelit Planet Scope. Data lapangan kemudian dikorelasikan dengan nilai NDVI, NDVIRE, dan GNDVI melalui analisis regresi linier dan non-linier untuk membangun model estimasi biomassa di seluruh area studi. Pendekatan ini menggabungkan keakuratan data primer

lapangan dengan cakupan luas penginderaan jauh, memungkinkan pemetaan distribusi biomassa (Firmansyah dan Rahayu, 2022)

3.4.2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan informasi yang dikumpulkan mengenai hal-hal yang berkaitan dengan topik penelitian. Data sekunder yang diambil dalam penelitian ini adalah kondisi lokasi penelitian diantaranya letak, luas, keadaan umum lokasi, data kondisi potensi hutan serta kondisi fisik di areal hutan mangrove serta data ataupun studi literatur yang diperoleh dari penelitian–penelitian mengenai karbon tersimpan pada hutan mangrove.

3.5. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data primer ini dilakukan dengan melakukan penelitian langsung di lapangan secara eksploratif dan pengambilan data. Penentuan lokasi pengambilan sampel menggunakan metode *purposive sampling* dengan mempertimbangkan dominansi, kerapatan, dan kemudahan akses mangrove (Putu Puspita Dewanti *et al.*, 2020). Pengumpulan data dilakukan dengan mengambil semua data pada mangrove yang berada pada plot pengamatan (plot 30 m x 30 m) dengan pendekatan *non destructive*. Plot yang digunakan pada penelitian ini berjumlah 40 plot. Penggunaan plot 30 m x 30 m merupakan ukuran petak contoh untuk pohon dewasa. Pengukuran diameter pohon yang diambil menggunakan pita meter. Pengambilan data hanya pada pohon yang memiliki diameter minimal 5 cm sesuai karakteristik pohon mangrove.

3.5.1. Ekstraksi Data Spasial

Ekstraksi data spasial dalam penelitian ini dilakukan untuk memperoleh informasi relatif dan tekstural dari citra Planet Scope yang relevan dengan karakteristik biomassa mangrove di Desa Margasari, Lampung Timur. (Firmansyah dan Rahayu, 2022). Tahap ini melibatkan praproses citra, seperti koreksi atmosferik, untuk memastikan data citra bebas dari distorsi akibat hamburan atmosfer atau kesalahan posisi. Selanjutnya, band Planetscope (termasuk band hijau, merah, *red edge*, dan NIR) diekstraksi untuk menghitung indeks vegetasi.

3.5.2. Observasi Lapangan

Observasi lapangan dilakukan menggunakan *Purposive sampling*. *Purposive sampling* merupakan teknik penelitian yang memfokuskan pada area tertentu yang dianggap representatif untuk mengukur jumlah total materi organik dalam vegetasi. Plot pengamatan dipilih berdasarkan kriteria spesifik, berdasarkan kerapatan vegetasi dan kemudahan akses. Keunggulan dari *purposive sampling* dalam estimasi biomassa adalah efisiensinya (Lestari dan Afriansyah, 2022). Lokasi dipilih secara relevan, metode ini dapat menghemat waktu dan sumber daya tanpa harus mencakup seluruh area yang heterogen dan data yang dihasilkan juga sangat spesifik dan dapat memberikan wawasan yang mendalam tentang lokasi atau jenis vegetasi tertentu. Data yang diperoleh melalui *purposive sampling* dapat digabungkan dengan teknik lain, seperti penginderaan jauh menggunakan citra satelit atau drone, untuk memperluas estimasi biomassa mangrove pada skala yang lebih besar. Dengan mengintegrasikan data lapangan dari plot *purposive sampling* dan citra satelit, dapat memodelkan biomassa mangrove secara lebih luas dan mengidentifikasi pola-pola perubahan yang terjadi di ekosistem mangrove secara lebih akurat.

3.6. Analisis Data

Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis menggunakan Analisis Indeks Vegetasi, Analisis Biomassa Mangrove, dan Analisis Regresi. Berikut uraian dari analisis tersebut.

3.6.1. Analisis Indeks Vegetasi

Indeks vegetasi merupakan parameter kunci dalam mengestimasi kerapatan vegetasi dan biomassa mangrove. Empat indeks vegetasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*)

Indeks ini mengukur kerapatan vegetasi dan kandungan klorofil dengan memanfaatkan pantulan relatif pada band merah (*Red*) dan inframerah dekat (NIR).

Berikut adalah klasifikasi kerapatan vegetasi menggunakan Rumus NDVI (Hardianto *et al.*, 2021), disajikan pada Tabel 1.

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

Tabel 1. Klasifikasi Kerapatan Vegetasi

Rentang	Kelas Vegetasi
< 0.2	Vegetasi Sangat Rendah
0.2 – 0.4	Vegetasi Rendah
0.4 – 0.6	Vegetasi Sedang
0.6 – 0.8	Vegetasi Tinggi
> 0.8	Vegetasi Sangat Tinggi

2. GNDVI (*Green Normalized Difference Vegetation Index*)

GNDVI memanfaatkan band hijau (*Green*) sebagai pengganti band merah, memberikan sensitivitas lebih tinggi terhadap variasi kandungan nitrogen dan klorofil (Simarmata *et al.*, 2021). Berikut klasifikasi kerapatan vegetasi menggunakan rumus GNDVI, disajikan pada Tabel 2.

$$GNDVI = \frac{NIR - Green}{NIR + Green}$$

Tabel 2 Klasifikasi Kerapatan Vegetasi

Rentang	Kelas Vegetasi
< 0.1	Vegetasi Sangat Rendah
0.1 – 0.3	Vegetasi Rendah
0.3 – 0.5	Vegetasi Sedang
0.5 – 0.7	Vegetasi Tinggi
> 0.7	Vegetasi Sangat Tinggi

3. NDVIRE (*Normalized Difference Vegetation Index Red Edge*)

NDVIRE memanfaatkan band *red edge* (tepi merah) (Hardianto *et al.*, 2021). Berikut klasifikasi kerapatan vegetasi menggunakan Rumus NDVIRE, disajikan pada Tabel 3.

$$NDVIRE = \frac{Red\ Edge - Red}{Red\ Edge + Red}$$

Tabel 3. Klasifikasi Kerapatan Vegetasi

Rentang	Kelas Vegetasi
< 0.15	Vegetasi Sangat Rendah

0.15 – 0.35	Vegetasi Rendah
0.35 – 0.55	Vegetasi Sedang
0.55 – 0.75	Vegetasi Tinggi
> 0.75	Vegetasi Sangat Tinggi

4. NDRE (*Normalized Difference Red Edge Index*)

NDRE optimal untuk memantau vegetasi pada fase pertumbuhan lanjut karena kombinasi band *red edge* dan NIR mampu menembus kanopi yang padat serta mengukur kandungan klorofil secara lebih akurat (Simarmata *et al.*, 2021). Berikut klasifikasi kerapatan vegetasi menggunakan Rumus NDRE, disajikan pada Tabel 4.

$$NDRE = \frac{NIR - Red\ Edge}{NIR + Red\ Edge}$$

Tabel 4. Klasifikasi Kerapatan Vegetasi

Rentang	Kelas Vegetasi
< 0.2	Vegetasi Sangat Rendah
0.2 – 0.4	Vegetasi Rendah
0.4 – 0.6	Vegetasi Sedang
0.6 – 0.8	Vegetasi Tinggi
> 0.8	Vegetasi Sangat Tinggi

3.6.2. Analisis Biomassa Mangrove

Perhitungan data menggunakan persamaan allometrik yang telah ada. Persamaan allometrik disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Persamaan Alometrik untuk Menghitung Biomassa Pohon Mangrove

No	Species	Allometric Model	Referensi
1.	<i>Avicennia alba</i>	$B=0.079211 \cdot D^{2.470895}$	Tue <i>et al.</i> , 2017
2.	<i>Avicennia marina</i>	$B=0.1848 \cdot D^{2.3524}$	BalitbangKehutanan, 2013
3.	<i>Bruguiera gymnorhiza</i>	$B=p \cdot 0.0754 \cdot D^{2.505}$	Kauffman <i>et al.</i> , 2012
4.	<i>Rhizophora apiculata</i>	$B=0.048 \cdot D^{2.614}$	BalitbangKehutanan, 2013
5.	<i>Rhizophora mucronata</i>	$B=0.1466 \cdot D^{2.3136}$	Dharmawan, 2013
6.	<i>Sonneratia alba</i>	$B=0.3841 \cdot p \cdot D^{2.101}$	Kauffman and Donato, 2012
7.	<i>Xylocarpus granatum</i>	$B=0.1832 \cdot D^{2.21}$	Tarlan, 2008

Sumber: Suryono *et al.*, 2018.

3.6.3. Analisis Regresi

Analisis regresi dalam penelitian ini digunakan untuk membangun *estimation curve* atau kurva estimasi yang menggambarkan hubungan antara indeks vegetasi hasil ekstraksi citra satelit Planet Scope dengan data biomassa mangrove hasil pengukuran lapangan. Empat jenis indeks vegetasi diuji, yaitu NDVI, GNDVI, NDVIRE, dan NDRE. Dua jenis model regresi yang digunakan untuk menangkap variasi pola hubungan yang mungkin terjadi antara indeks dan biomassa yaitu regresi linier sederhana dan regresi relatif derajat tiga (regresi kubik) (Nurdin *et al.*, 2023).

1. Model Linier

Persamaan model linier pada dasarnya adalah hubungan matematis antara variabel terikat (Y) dengan satu atau lebih variabel bebas (X) yang diasumsikan berbentuk garis lurus (Nurdin *et al.*, 2023).

$$Y = a + bX$$

Keterangan:

Y = Biomassa mangrove (relatif dependen)

X = Nilai indeks vegetasi (NDVI, NDRE, dll.)

Aa = Intercept (nilai biomassa saat X=0)

Bb = Koefisien regresi (tingkat perubahan biomassa per unit perubahan indeks vegetasi)

2. Model Kubik

Model kubik adalah bentuk persamaan regresi (atau fungsi) yang memasukkan pangkat tiga (X^3) sebagai variabel prediktor. Jadi bukan hanya garis lurus (linear) atau kuadrat (X^2), tetapi sampai pangkat tiga (Bachmid *et al.*, 2018).

$$Y = a + bX + cX^2 + dX^3$$

Keterangan:

Y = Biomassa mangrove.

X = Nilai indeks vegetasi.

A,b,c,d = Koefisien regresi yang diestimasi dari data.

Menguji hubungan langsung dan proporsional antara indeks vegetasi (NDVI, NDRE) dengan biomassa mangrove, dengan asumsi perubahan indeks vegetasi sejalan dengan perubahan biomassa. Mengakomodasi hubungan non-linear dan efek jenuh (*saturation effect*) pada biomassa tinggi, di mana peningkatan indeks vegetasi tidak lagi berkorelasi linier dengan biomassa.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Simpulan dari hasil analisis data yaitu sebagai berikut

1. Estimasi biomassa mangrove di Desa Margasari, Lampung Timur, menunjukkan total biomassa sebesar 16,48 ton (dari 40 plot seluas 3,6 hektar), dengan rata-rata biomassa per hektar mencapai 183,13 ton/ha. Nilai ini tergolong tinggi dibandingkan rata-rata global ekosistem mangrove tropis (100–150 ton/ha), mengindikasikan kerapatan dan produktivitas vegetasi yang optimal di wilayah tersebut.
2. Hubungan biomassa mangrove dengan indeks vegetasi (NDVI, GNDVI, NDVIRE, NDRE) bersifat non-linear, dengan model regresi kubik memberikan akurasi tertinggi ($R^2 = 0,726$ untuk NDRE). NDRE (*Normalized Difference Red Edge Index*) menjadi prediktor terbaik karena sensitivitasnya terhadap variasi klorofil dan struktur kanopi mangrove yang padat.

5.2. Saran

Saran untuk pihak pengelola maupun penelitian selanjutnya di Wilayah Mangrove Desa Margasari adalah sebagai berikut

1. Pengelolaan Berbasis Data Indeks Vegetasi: Pihak pengelola disarankan memanfaatkan indeks vegetasi (khususnya NDRE) untuk pemantauan berkala biomassa mangrove secara efisien. Integrasi data satelit resolusi tinggi (seperti Planet Scope) dengan pengukuran lapangan dapat meningkatkan akurasi dalam identifikasi area kritis yang membutuhkan rehabilitasi.
2. Penelitian Lanjutan dengan Pendekatan Holistik: Untuk memperdalam pemahaman, penelitian selanjutnya disarankan mengintegrasikan faktor

lingkungan (seperti salinitas, sedimentasi, dan aktivitas antropogenik) serta analisis *machine learning* untuk memodelkan dinamika biomassa secara lebih komprehensif. Kolaborasi dengan masyarakat lokal juga penting untuk meningkatkan kesadaran akan nilai ekologis dan ekonomi mangrove.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, F., Jatiwibowo, R., Kamil, Z. A., dan Gifari, O. I. 2024. Prediksi luas vegetasi Kota Samarinda-Kalimantan Timur menggunakan metode ndvi dan klasifikasi terbimbing. *Jurnal Hutan Tropis*. 12(1): 31 : 42.
- Ahmed, Y., Kurniawan, C. A., Efendi, G. R., Pribadi, R., Nainggolan, F. A., dan Samudra, M. B. G. S. 2023. Estimasi cadangan karbon mangrove berdasarkan perbedaan tahun tanam rehabilitasi mangrove (2016, 2008, 2017, 2018 dan 2017) di Kawasan Ekowisata Mangrove Pandansari, Kabupaten Brebes. *Buletin Oseanografi Marina*. 12(1): 9–19.
- Alviana, D., Anggraini, R., Hidayati, J. R., Karlina, I., Lestari, F., Apdillah, D., Syakti, A. D., dan Sihite, D. 2023. Estimasi cadangan karbon pada ekosistem mangrove di Desa Pengudang Kecamatan Teluk Sebong Kabupaten Bintan. *Jurnal Kelautan Tropis*. 26(3): 464–472.
- Andakke, J. N., dan Tarya, A. 2022. Variations of marine debris in Manado bay and its environs. *Jurnal Ilmiah PLATAX*. 10(2): 224-242.
- Ariani, D., Prasetyo, Y., dan Sasmito, B. 2020. Estimasi tingkat produktivitas padi berdasarkan algoritma NDVI, EVI dan SAVI menggunakan citra sentinel-2 multitemporal (studi kasus: Kabupaten Pekalongan, Jawa Tengah). *Jurnal Geodesi Undip*. 9(1): 207–216.
- Aziz, Z., dan Setiawan, A. 2017. Perbandingan antara multi atribut seismik regresi linier dan multi atribut seismik probabilistic neural network untuk estimasi porositas reservoir batu pasir pada lapangan minyak teapot dome. *Jurnal Fisika Indonesia*. 20(1): 1-12.
- Azizah, R., Alamsyah, R., Mutahharah, M., Akram, A., Nurhaliza, N., dan Maulana, W. 2024. Potensi serapan karbon hutan mangrove pesisir sinjai utara Kabupaten Sinjai. *Hutan Tropika*. 19(1): 141–149.
- Bachmid, F., Sondak, C., dan Kusen, J. 2018. Estimasi penyerapan karbon hutan mangrove bahowo Kelurahan Tongkaina Kecamatan Bunaken. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*. 6(1): 8-23.
- Cahyono, B. E., Nugroho, A. T., dan Wulandari, N. D. 2022. Analisis usia tebu

terhadap pola nilai GNDVI (*Green Normalized Difference Vegetation Index*) berdasarkan data citra landsat-8. *Jurnal Teknotan*. 16(3): 139-153.

Chee, S. Y., Firth, L. B., Then, A. Y. H., Yee, J. C., Mujahid, A., Affendi, Y. A., Amir, A. A., Lau, C. M., Ooi, J. L. S., Quek, Y. A., Tan, C. E., Yap, T. K., Yeap, C. A., dan McQuatters-Gollop, A. 2021. Enhancing uptake of nature-based solutions for informing coastal sustainable development policy and planning: A Malaysia Case Study. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 9(1): 1–18.

Dayanthi, A. K., Prasetyo, S. Y. J., dan Fibriani, C. 2023. Klasifikasi wilayah risiko bencana banjir di Kota Semarang dengan perhitungan indeks vegetasi. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 10(2): 461–470.

Eddy, S., Iskandar, I., Rasyid Ridho, M., dan Mulyana, A. 2019. Restorasi hutan mangrove terdegradasi berbasis masyarakat lokal. *Jurnal Indobiosains*. 1(1): 1–13.

Ekawati, S., dan Nurrochmat, D. R. 2016. Hubungan modal sosial dengan pemanfaatan dan kelestarian hutan lindung (relationship between social capital with utilization and sustainability of protected forest). *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*. 11(1): 40–53.

Farahdita, W. L., Soenardjo, N., dan Suryono, C. A. 2021. Teknologi Drone untuk estimasi stok karbon di area mangrove Pulau Kemujan, Karimunjawa. *Journal of Marine Research*. 10(2): 281–290.

Farhaby, A. M., Henri, H., dan Randiansyah, R. 2023. Analisis produksi karbon serasah mangrove di hutan mangrove Desa Kurau Timur Kabupaten Bangka Tengah. *Bioma : Berkala Ilmiah Biologi*. 25(1): 11–19.

Firmansyah, P.H., Rahayu, S. 2022. *Dialektika Publik*. Penganggaran Partisipatif di Kabupaten Bima Nusa Tenggara Barat.

Fitria, A. 2021. Ekosistem mangrove dan mitigasi pemanasan global. *Jurnal Ekologi, Masyarakat dan Sains*. 2(1): 29–34.

Gokberk, N.O. 2021. BbchÖlçeğindeSentinel-2GörüntüleriİlAyçiçeği Ve BuğBitkilerinin Vejeta. *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpasa University*. 38(1), 46–52.

Hadi Pranata, A., Jauhari, A., dan Fithria, A. 2020. Analisis akurasi luas tutupan lahan menggunakan uav (Unmanned Aerial Vehicle) di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Ulm di Mandiangin. *Jurnal Sylva Scientiae*. 3(5): 796.

Hardianto, A., Dewi, P. U., Feriansyah, T., Sari, N. F. S., dan Rifiana, N. S. 2021. Pemanfaatan Citra landsat 8 dalam mengidentifikasi nilai indeks kerapatan

- vegetasi (NDVI) tahun 2013 dan 2019 (Area Studi: Kota Bandar Lampung). *Jurnal Geosains Dan Remote Sensing*. 2(1): 8-15.
- Hafli, R. D. M., dan Samiaji, J. 2024. Profil stok karbon dan valuasi ekonomi ekosistem mangrove di Kabupaten Tapanuli Tengah, Provinsi Sumatera Utara. *Proceeding Technology of*. 272 84–93.
- Hambali, A., Iwan Santoso, A., Teguh, K. S., Julzarika, A., Setiyadi, J., Sigit, E. K., Tinggi Teknologi Angkatan Laut, S., Hidrografi, P., Pemetaan, D., dan Pada Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, P. 2022. Pemanfaatan citra planet scope untuk estimasi batimetri (studi kasus di perairan laut dangkal Pulau Karimun Jawa Jepara Jawa Tengah) (*Utilization Of Scope Planet Image For Batimetry Estimation*) (*Case Studi In Shallow Sea Waters Of Karimunjawa Island, Jepa. Jurnal Hidrografi Indonesia*. 4 (2): 1–13.
- Hamdi, B. El, Al-Fariziz, M. S., Safitri, M., Amalia, I. N., Nandi, N., dan Ridwana, R. 2024. Perbandingan penggunaan citra landsat 8 dan sentinel 2 terhadap analisis kesehatan mangrove dengan metode ndvi di Teluk Jakarta. *Jurnal Warta Desa (JWD)*. 6(1): 15–24.
- Hardianto, A., Dewi, P. U., Feriansyah, T., Sari, N. F. S., dan Rifiana, N. S. 2021. Pemanfaatan citra landsat 8 dalam mengidentifikasi nilai indeks kerapatan vegetasi (NDVI) Tahun 2013 dan 2019 (Area Studi: Kota Bandar Lampung). *Jurnal Geosains Dan Remote Sensing*. 2(1), 8–15.
- Harefa, M. S., Pasaribu, P., Alfatha, R. R., Benny, X., dan Irfani, Y. 2023. Identifikasi pemanfaatan hutan mangrove oleh masyarakat studi kasus Kecamatan Teluk Mengkudu Kabupaten Serdang Bedagai. *Journal of Laguna Geography*, 02(pemanfaatan hutan mangrove). 1–7.
- Hasidu, L. O. A. F., Prasetya, A., Maharani, Asni, Agusriyadin, Mubarak, A. A., Ibrahim, A. F., Kamur, S., dan Kharisma, G. N. 2021. Analisis vegetasi, estimasi biomassa dan stok karbon ekosistem mangrove pesisir Kecamatan Latambaga. *Jurnal sains dan Inovasi Perikanan*. 5(2): 60–71.
- Heriyanto, N. M., dan Subiandono, E. 2016. Peran biomasa mangrove dalam menyimpan karbon di kubu Raya, Kalimantan Barat (Role of Mangrove Biomass in Carbon Sink, in Kubu Raya, West Kalimantan). *Jurnal Analisis Kebijakan*. 13(1)(1): 1–12.
- Hermiati, E., Mangunwidjaja, D., Candra Sunarti, T., dan Suparno, O. 2016. pemanfaatan biomassa lignoselulosa ampas tebu untuk produksi bioetanol and Higher Education) View project. *Technology*. 29(1): 121–130.
- Hirmawan, A. A., Saputra, W. S., dan Churun, A. 2020. Jurnal pasir laut jurnal pasir laut. *Jurnal Pasir Laut*. 4(1): 16–21.
- Huang, S., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y., dan Shao, G. 2021. A commentary review

on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*. 32(1): 1–6.

Immanuel Sinabang, Klarita Dwijayanti Waruwu, Geby Pauliana, Winda Rahayu, dan Meilinda Suriani Harefa. 2022. Analisis pemanfaatan keanekaragaman mangrove oleh masyarakat di Pesisir Pantai Mangrove Paluh Getah. *J-CoSE: Journal of Community Service dan Empowerment*. 1(1): 10–21.

Islamiah, N., Astiani, D., dan Ekamawanti, H. A. 2022. Estimasi produksi karbon dari serasah hutan mangrove Desa Mendalok Kecamatan Sungai Kunyit Kabupaten Mempawah. *Jurnal Hutan Lestari*. 10(2): 424.

Island, H., dan Tengah, M. 2024. Identifikasi jenis mangrove dan faktor lingkungan tempat tumbuh mangrove di dusun nama ' ea negeri pelauw pulau haruku , maluku tengah. *Identification of mangrove types and environmental factors where mangroves grow in nama ea hamlet , pelauw village*. 1(6): 626–643.

Kawamuna, A., Suprayogi, A., dan Wijaya, A. P. 2017. Analisis kesehatan hutan mangrove berdasarkan metode klasifikasi NDVI pada Citra Sentinel-2. *Jurnal Geodesi Undip Januari*. 6(1): 277–284.

Koresponden, P., Wulandari, C., Pesisir Berkelanjutan di Desa Wedung, K., Wedung, K., Demak, K., Tengah Cahyo Wulandari, J., Tri Kusuma Hapsari, N., Wahyu Putranto, D., dan Umniyyatina Syahid, T. 2023. Potensi Ekosistem Mangrove untuk Mewujudkan. *Jurnal ugm*. 1(2): 81–92.

Latupapua, L., Siahaya, L., dan Seipalla, B. 2023. Konservasi hutan mangrove dalam upaya perlindungan terhadap satwa liar di Negeri Hukurila Kecamatan Leitimir Selatan Kota Ambon. *Jurnal Inovasi Pengabdian dan Pemberdayaan Masyarakat*. 3(1): 281–288.

Lestari, L., dan Afriansyah, E. A. 2022. Kesalahan siswa dalam menyelesaikan soal cerita tentang bangun ruang sisi lengkung menggunakan prosedur newman. *Jurnal Inovasi Pembelajaran Matematika: Power Math Edu*. 1(2): 125–138.

Lita Sumiyati, S. J. 2017. Nilai ekologis ekosistem hutan mangrove. *Jurnal Biologi Tropis*. 17(1).

Majene, K., dan Carong, S. R. 2023. *Majene Regency*. 3(2):1–10.

Mangore, R., Rumengan, A. P., Angmalisang, P. A., Rumampuk, N. D. C., Djamaluddin, R., dan Rondonuwu, A. B. 2022. Analisis struktur komunitas dan biomassa mangrove di Kelurahan Lirang Kecamatan Lembeh Utara Kota Bitung. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*. 10(2): 209–218.

Nurdin, N., Yasir, I., Mashoreng, S., Selamat, M. B., Kelautan, D. I., dan Unhas, F. 2023. Estimasi stok karbon biomassa pada ekosistem mangrove menggunakan data satelit di Pulau Nunukan Kabupaten Nunukan Kalimantan Utara

(Estimation of Biomass Carbon Stock in Mangrove Ecosystems using Remote Sensing on Nunukan Island Nunukan Regency North Kal. 2(1): 63–76.

- Paradika, G. Y., Kissinger, K., dan Rezekiah, A. A. 2021. Pendugaan cadangan karbon vegetasi di sempadan sungai pada Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Universitas Lambung Mangkurat. *Jurnal Sylva Scienteeae*. 4(1): 98-105.
- Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J. M., Tucker, C. J., dan Stenseth, N. C. 2016. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology and Evolution*. 20(9): 503–510.
- Prasetyo, A. R., Valentino, N., dan Hadi, M. A. 2023. Identifikasi sebaran spasial dan kerapatan mangrove gili lawang menggunakan citra landsat 9 OLI-2/TIRS-2. *Jurnal Sains Teknologi dan Lingkungan*. 9(2): 215–225.
- Putu Puspita Dewanti, L., Subagiyo, dan Permata Wijayanti, D. 2020. Analysis of Biomass and Stored Carbon Stock in Mangrove Forest Area, Taman Hutan Raya Ngurah Rai Bali. *Saintek Perikanan: Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology*. 16(3): 2019–2224.
- Qurniati, R., dan Tsani, M. K. 2024. Mangrove untuk mendukung permudaan kawasan. 7(1): 155–163.
- Rachmawati, D., Setyobudiandi, I., dan Hilmi, E. 2016. Potensi estimasi karbon tersimpan pada vegetasi mangrove di wilayah pesisir muara gembong Kabupaten Bekasi. *Omni-Akuatika*. 10(2): 85–91.
- Ratna Poerwantika, T., Shylvia Windary, Faturahman Rasyid, dan Bebby Estefany Santoso. 2022. Diplomasi Lingkungan: Indonesia Dalam Mewujudkan Transisi Energi Post – COP26. *Jurnal Multidisiplin Madani*. 2(9): 3596–3609.
- Raynaldo, A., Marista, E., Shofiyah, S. S., Linda, R., dan Rafdinal, R. 2022. Estimasi cadangan karbon kawasan taman wisata hutan mangrove Kecamatan Sukadana, Kabupaten Kayong Utara, Kalimantan Barat. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*. 15(1): 23–30.
- Safe'i, R. 2020. Nilai status dan perubahan kesehatan hutan mangrove (studi kasus hutan mangrove di Desa Margasari, Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur). *Perennial*. 16(2): 73–79.
- Shabrina, N., Sukmono, A., dan Subiyanto, S. 2020. Analisis Identifikasi fase tumbuh untuk estimasi produksi padi dengan algoritma EVI dan NDRE Multitemporal pada Citra Sentinel-2 di Kabupaten Demak. *Jurnal Geodesi Undip*. 9(4): 59–70.
- Simarmata, N., Wikantika, K., Tarigan, T. A., Aldyansyah, M., Tohir, R. K., Fauziah, A., Purnama, Y. 2021. Analisis transformasi indeks NDVI, NDWI

- dan SAVI untuk Identifikasi Kerapatan Vegetasi Mangrove Menggunakan Citra Sentinel di Pesisir Timur Provinsi Lampung. *Jurnal Geografi dan Pengajarannya*. 19(2): 69-79.
- Sugiarti, R., Achyani, A., dan Muhfahroyin, M. 2020. Upaya pelestarian hutan mangrove Kecamatan Labuhan Maringgai Kabupaten Lampung Timur untuk meningkatkan fungsi hutan mangrove. *Biolova*. 1(1): 25–29.
- Suroso, R. 2022. Analisis kesehatan mangrove berbasis algoritma NDVI menggunakan citra sentinel 2A di Kecamatan Tugu Kota Semarang. *Jurnal Geo Image*. 11(1): 1–7.
- Suryono, Soenardjo, N., Wibowo, E., Ario, R., dan Rozy, E. F. 2018. Estimation of biomass content and carbon in perancak mangrove forest jembrana regency of Bali Province. *Buletin Oseanografi Marina*. 7(1): 1–8.
- Syamsualam, N., dan Hidayat, R. 2022. Application of truncated spline nonparametric regression in modeling traffic accident rate in Palopo City. *Mathline : Jurnal Matematika dan Pendidikan Matematika*. 7(2): 185–196.
- Tabur, K. G., Berau, K., Fatmawati, Y., Geodesi, T., dan Winaya, U. 2020. *Akuisisi Data Citra Menggunakan Uav*. 6(2): 1–10.
- Wardhani Kusumo, M. 2011. Kawasan konservasi mangrove: suatu potensi ekowisata Maulinna Kusumo Wardhani. *Jurnal Kelautan*. 4(1): 60–79.
- Zuhdi, F. A., dan Pribadi, R. 2024. Kajian Perubahan Luasan Mangrove Menggunakan Citra Landsat 2013 , 2016 , 2021 Pesisir Tayu Study of Changes in Mangrove Area Using Landsat Imagery 2013 , 2016 , 2021 Tayu Coast. 13(4): 773–783.