

**PENDUGAAN POTENSI STOK KARBON DAN EMISI CO<sub>2</sub>  
BERDASARKAN PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN  
DI SEKITAR KAWASAN MANGROVE KECAMATAN  
PASIR SAKTI, KABUPATEN LAMPUNG TIMUR**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**IMA MULANI  
NPM 1814221016**



**FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

**PENDUGAAN POTENSI STOK KARBON DAN EMISI CO<sub>2</sub>  
BERDASARKAN PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN  
DI SEKITAR KAWASAN MANGROVE KECAMATAN  
PASIR SAKTI, KABUPATEN LAMPUNG TIMUR**

**Oleh**

**IMA MULANI**

**(Skripsi)**

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar  
SARJANA SAINS**

**Pada**

**Jurusan Perikanan dan Kelautan  
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

## ABSTRAK

### PENDUGAAN POTENSI STOK KARBON DAN EMISI CO<sub>2</sub> BERDASARKAN PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN DI SEKITAR KAWASAN MANGROVE KECAMATAN PASIR SAKTI, KABUPATEN LAMPUNG TIMUR

Oleh

**Ima Mulani**

Mangrove merupakan ekosistem yang memiliki kemampuan untuk menyimpan karbon. Kawasan mangrove di Kecamatan Pasir Sakti setiap tahunnya mengalami penambahan luasan yang disebabkan oleh reboisasi serta pengurangan luasan yang disebabkan oleh degradasi dan deforestasi. Dinamika ini dapat menimbulkan kenaikan atau pengurangan emisi CO<sub>2</sub> ke atmosfer. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis stok karbon dan potensi emisi CO<sub>2</sub> di kawasan mangrove Kecamatan Pasir Sakti tahun 1995-2022, serta untuk mengetahui hubungan antara luas mangrove, stok karbon, dan emisi CO<sub>2</sub>. Data tutupan lahan diperoleh dengan menganalisis citra Landsat dari tahun 1995-2022 menggunakan *software* Arcgis dan Qgis. Stok karbon pada mangrove diperoleh dengan mengalikan luasan mangrove dengan faktor emisi per tutupan lahan. Potensi emisi CO<sub>2</sub> diperoleh dari perkalian antara luasan mangrove yang mengalami degradasi maupun deforestasi dengan faktor emisi per tipe tutupan lahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari periode 1995-2022 stok karbon cenderung mengalami peningkatan dengan nilai tertinggi terjadi pada tahun 2022 yaitu 96.375,9 ton C yang dipengaruhi oleh adanya peningkatan luasan mangrove. Potensi emisi CO<sub>2</sub> pada periode 1995-2022 cenderung mengalami peningkatan saat terjadinya degradasi, namun cenderung menurun dengan laju yang kecil saat peristiwa deforestasi yang disebabkan oleh konversi lahan. Terdapat hubungan berbanding lurus antara stok karbon dan luasan yaitu pada saat luasan meningkat maka stok karbon juga akan meningkat, akan tetapi berbanding terbalik dengan emisi CO<sub>2</sub> yang semakin menurun dengan adanya peningkatan luasan mangrove.

**Kata kunci:** *Stok karbon, emisi CO<sub>2</sub>, degradasi, deforestasi.*

## ABSTRACT

### ESTIMATION OF CARBON STOCK POTENTIAL AND CO<sub>2</sub> EMISSIONS BASED ON LAND COVER CHANGE IN AROUND MANGROVE AREA IN PASIR SAKTI DISTRICT, EAST LAMPUNG REGENCY

By

**Ima Mulani**

Mangroves are ecosystems that have the ability to store carbon. Mangrove areas in Pasir Sakti District annually have increased area caused by reforestation and decreased area caused by degradation and deforestation. This dynamic can lead to an increase or decrease in CO<sub>2</sub> emissions into the atmosphere. This research was to analyze carbon stocks and potential CO<sub>2</sub> emissions in the mangrove area of Pasir Sakti District in 1995-2022, and to identify the correlations between mangrove area, carbon stocks, and CO<sub>2</sub> emissions. Land cover data was obtained by analyzing Landsat images from 1995-2022 using Arcgis and Qgis software. Carbon stocks in mangroves were obtained by multiplying the mangrove area by the emission factor per land cover. Potential CO<sub>2</sub> emissions were obtained by multiplying the area of mangroves that were degraded or deforested by the emission factor per land cover type. The results showed that from the period 1995-2022 carbon stocks tended to increase with the highest value in 2022 of 96,375.9 tons C which was influenced by the increase in mangrove area. Potential CO<sub>2</sub> emissions in the period 1995-2022 tend to increase when degradation occurs, but tend to decrease at a small rate when deforestation events caused by land conversion. There is a directly comparable correlation between carbon stock and area, when the area increases, the carbon stock will also increase, but inversely correlated with CO<sub>2</sub> emissions which decreases with an increase in mangrove area.

**Keywords:** *Carbon stock, CO<sub>2</sub> emissions, degradation, deforestation.*

Judul Skripsi : **PENDUGAAN POTENSI STOK KARBON DAN EMISI CO<sub>2</sub> BERDASARKAN PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN DI SEKITAR KAWASAN MANGROVE KECAMATAN PASIR SAKTI, KABUPATEN LAMPUNG TIMUR**

Nama Mahasiswa : **Ima Mulani**

NPM : **1814221016**

Program Studi : **Ilmu Kelautan**

Jurusan : **Perikanan dan Kelautan**

Fakultas : **Pertanian**

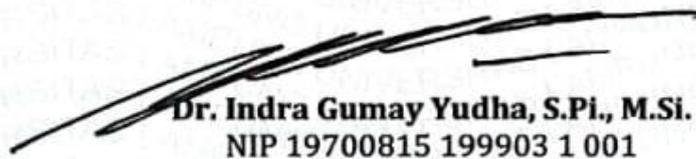


1. **Komisi Pembimbing**

  
**Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T.**  
NIP 19750515 200212 1 007

  
**Oktora Susanti, S.Pi., M.Si.**  
NIP 19881001 201903 2 014

2. **Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan**

  
**Dr. Indra Gumay Yudha, S.Pi., M.Si.**  
NIP 19700815 199903 1 001

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

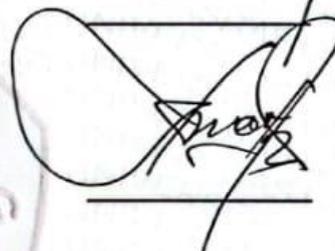
**Ketua : Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T.**



**Sekretaris : Oktora Susanti, S.Pi., M.Si.**



**Anggota : Dr. Moh. Muhaemin, S.Pi., M.Si.**

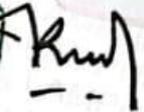


**2. Dekan Fakultas Pertanian**



**Prof. Dr. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.**

0611020 198603 1 002



**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 31 Januari 2023**

## PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana baik di Universitas Lampung maupun perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Tim Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan naskah, dengan naskah disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 25 Juli 2023

Yang membuat pernyataan,



**Ima Mulani**  
NPM. 1814221016

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kandang Besi, Kecamatan Kota Agung Barat, Kabupaten Tanggamus, Lampung pada tanggal 26 Juni 1999 sebagai anak dari Bapak Idrus dan Ibu Sakriyah. Penulis menempuh pendidikan dasar di SD Negeri 1 Kandang Besi pada tahun 2006–2012, dilanjutkan ke pendidikan menengah pertama di MTsN 1 Tanggamus tahun 2012–2015, dan pendidikan menengah atas di SMAN 1 Kota Agung pada tahun 2015–2018. Penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi pada tahun 2018 di Program Studi Ilmu Kelautan, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

Penulis pernah aktif pada organisasi Himpunan Mahasiswa Perikanan dan Kelautan (Himapik) sebagai anggota pada periode 2019 – 2020. Penulis pernah menjadi asisten dosen pada mata kuliah Kimia Dasar. Penulis pernah mengikuti kegiatan magang di Taman Nasional Kepulauan Seribu pada tahun 2020. Penulis pernah mengikuti kuliah kerja nyata (KKN) di Desa Banjarmasin, Kecamatan Kota Agung Barat, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung selama 40 hari pada tahun 2021. Penulis juga pernah melaksanakan kegiatan Praktik Umum di kawasan ekowisata mangrove Petengoran pada tahun 2021 dengan judul “Pola Distribusi Sampah Laut Jenis Anorganik di Kawasan Ekowisata Mangrove Petengoran, Desa Gebang, Kecamatan Teluk Pandan, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung”.

## **PERSEMBAHAN**

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT dengan kemurahan dan ridho-Nya, skripsi ini dapat ditulis dengan baik dan lancar hingga selesai. Dengan ini kupersembahkan skripsi ini kepada:

Kedua orang tuaku tersayang, yaitu bapak Idrus dan ibu Sakriyah yang selalu memberikanku ketenangan, kenyamanan, motivasi, doa terbaik, serta tanpa lelah telah mendukung semua keputusan dan pilihan dalam hidupku tanpa menuntut apapun.

Kedua kakakku, Dina Dahlia dan Dina Milda, serta abangku Imam Sahmi yang selalu memberikan nasehat, semangat, serta dukungannya tanpa pernah memberikan tekanan kepadaku.

Sahabat-sahabatku semasa kuliah, Fee, Nazolla, Suci, Vero, Dwi, dan Dewi, yang telah menemani dan selalu memberikan semangat serta dukungan sehingga penulis dapat melewati masa-masa yang sulit saat penyusunan skripsi.

Bapak dan ibu dosen yang telah memberikan ilmu dengan tulus dan ikhlas serta teman-teman program studi Ilmu Kelautan 2018.

Serta  
Almamaterku tercinta Universitas Lampung.

## **MOTTO**

“Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kemampuannya”

(QS. Al Baqarah: 286)

Jangan terlalu memikirkan masa lalu karena telah pergi dan selesai, dan jangan terlalu memikirkan masa depan hingga dia datang sendiri. Jika melakukan yang terbaik di hari ini maka hari esok akan lebih baik.

(Puspitasari, R. A)

Jangan pernah malu untuk maju, karena malu menjadikan kita takkan pernah mengetahui dan memahami segala sesuatu hal akan hidup ini.

Hadapilah, itulah satu-satunya cara untuk melaluinya.

## SANWACANA

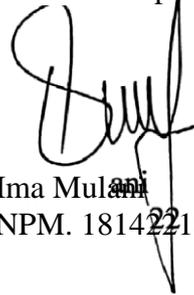
Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. atas nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Pendugaan Potensi Stok Karbon dan Emisi CO<sub>2</sub> Berdasarkan Perubahan Tutupan Lahan di Sekitar Kawasan Mangrove Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi syarat lulus sarjana. Selama penyusunan skripsi, penulis mendapatkan banyak dukungan, bimbingan, dan bantuan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si. selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
2. Dr. Indra Gumay Yudha, S.Pi., M.Si. selaku Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan, Universitas Lampung.
3. Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T. selaku Ketua Program Studi Ilmu Kelautan dan Dosen Pembimbing I yang telah memberi arahan serta bimbingan dalam proses penyusunan skripsi.
4. Oktora Susanti, S.Pi., M.Si. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberi arahan serta bimbingan dalam proses penyusunan skripsi.
5. Dr. Moh. Muhaemin, S.Pi., M.Si. selaku Dosen Pembahas yang memberikan saran dan arahan dalam menyelesaikan skripsi.
6. Ayah, Ibu, Kakak, serta Abang yang telah banyak mendoakan, memberikan kasih sayang, semangat, serta memberi dukungan kepada dalam perkuliahan penulis selama ini.
7. Ferdina, Nazolla, Suci, Vero, Dwi, dan Dewi atas segala doa dan bantuan yang telah diberikan dalam proses penyusunan skripsi ini.

8. Desmi, Agung, dan Mifta yang telah memberi bantuan kepada penulis dalam pengerjaan data skripsi.
9. Teman-teman Program Studi Ilmu Kelautan Angkatan 2018 yang telah men-  
doakan, memberi dukungan, dan telah berjuang bersama selama perkuliahan.

Penulis berharap dengan adanya skripsi ini dapat membantu dan memberi informasi kepada teman-teman mahasiswa lainnya dan masyarakat umum. Penulis menyadari pula bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan kemampuan dan ilmu pengetahuan yang dimiliki oleh penulis. Namun demikian, penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembacanya.

Bandar Lampung, 25 Juli 2023



Ima Mulani  
NPM. 1814221016

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	iii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	v
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	vii
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	3
1.3 Manfaat Penelitian .....	4
1.4 Kerangka Pikir .....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	6
2.1 Ekosistem Mangrove di Kecamatan Pasir Sakti .....	6
2.2 Karbon di Ekosistem Mangrove .....	8
2.2.1 Serapan Karbon.....	10
2.2.2 Emisi Karbon .....	11
2.3 Penggunaan Lahan .....	12
2.3.1 Degradasi .....	13
2.3.2 Deforestasi .....	14
2.4 Penginderaan Jauh .....	15
2.5 Citra Satelit Landsat.....	17
2.6 Respon Objek Terhadap Reflektansi Gelombang Elektromagnetik .....	21
<b>III. METODE PENELITIAN</b> .....	24
3.1 Waktu dan Tempat .....	24
3.2 Alat dan Bahan.....	25
3.3 Metode Penelitian .....	26
3.3.1 Pengumpulan Data.....	26
3.3.2 Pengolahan Data .....	27
3.3.3 Analisis Data .....	33
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	37
4.1 Analisis Perubahan Luasan Tutupan Lahan di Kawasan Mangrove (Wilayah Studi) Tahun 1995-2022 .....	37

4.1.1	Pertambahan Luasan Mangrove di Kecamatan Pasir Sakti Kabupaten Lampung Timur Tahun 1995-2022.....	45
4.1.2	Degradasi dan Deforestasi yang Terjadi pada Kawasan Mangrove di Kecamatan Pasir Sakti Tahun 1995-2022.....	46
4.2	Validasi Klasifikasi Tutupan Lahan pada Kawasan Mangrove di Kecamatan Pasir Sakti .....	51
4.3	Analisis Stok Karbon Kawasan Mangrove di Kecamatan Pasir Sakti Tahun 1995-2022.....	55
4.4	Analisis Potensi Emisi CO <sub>2</sub> dan Serapan Karbon Akibat Perubahan Tutupan Lahan pada Kawasan Mangrove di Kecamatan Pasir Sakti Tahun 1995-2022 .....	58
4.4.1	Potensi Emisi CO <sub>2</sub> Akibat Perubahan Tutupan Lahan pada Kawasan Mangrove di Kecamatan Pasir Sakti Tahun 1995-2022 .....	58
4.4.2	Potensi Serapan Karbon Akibat Perubahan Tutupan Lahan pada Kawasan Mangrove di Kecamatan Pasir Sakti Tahun 1995-2022.....	61
4.5	Hubungan Perubahan Luasan Mangrove, Stok Karbon, dan Emisi CO <sub>2</sub> .....	62
4.6	Valuasi Ekonomi Karbon.....	65
<b>V.</b>	<b>PENUTUP</b> .....	<b>68</b>
5.1	Kesimpulan .....	68
5.2	Saran.....	68
	<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>70</b>
	<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>78</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Karakteristik band citra Landsat 5 .....	18
2. Karakteristik band citra Landsat 7 ETM+ .....	19
3. Karakteristik band citra Landsat 8 .....	20
4. Karakteristik band citra Landsat 9 .....	21
5. Alat yang digunakan dalam penelitian. ....	25
6. Bahan yang digunakan dalam penelitian .....	25
7. Kelas tingkat kerapatan berdasarkan nilai indeks NDVI .....	30
8. Nilai stok karbon tiap tutupan lahan .....	33
9. Nilai ekonomi karbon .....	35
10. Pertambahan luasan mangrove akibat perubahan tutupan lahan di kawasan mangrove Kecamatan Pasir Sakti tahun 1995-2022 .....	45
11. Luasan degradasi dan deforestasi di kawasan mangrove Kecamatan Pasir Sakti pada tahun 1995-2022 .....	47
12. Titik sampling <i>ground check</i> pada tutupan lahan di kawasan mangrove Kecamatan Pasir Sakti .....	51
13. Stok karbon (Ton C) di kawasan mangrove Kecamatan Pasir Sakti tahun 1995-2022.....	55
14. Potensi emisi CO <sub>2</sub> akibat degradasi dan deforestasi di kawasan mangrove tahun 1995-2022 .....	58

15. Potensi serapan karbon pada kawasan mangrove Kecamatan Pasir Sakti Tahun 1995-2022 .....	61
16. Nilai ekonomi karbon di kawasan mangrove Kecamatan Pasir Sakti tahun 1995-2022 .....	66

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pikir penelitian .....	5
2. Kurva reflektansi spektral untuk <i>vegetation</i> (tumbuhan), <i>soil</i> (tanah), <i>water</i> (air).....	23
3. Peta lokasi penelitian .....	24
4. Transek penelitian ukuran 10 x 10 m <sup>2</sup> .....	31
5. Pengolahan data perubahan tutupan lahan.....	32
6. Diagram alir penelitian .....	36
7. Luas tutupan lahan di kawasan mangrove Kecamatan Pasir Sakti.....	37
8. Peta perubahan luasan tutupan lahan di sekitar kawasan mangrove Kecamatan Pasir Sakti tahun 1995-2000 .....	38
9. Peta perubahan luasan tutupan lahan di sekitar kawasan mangrove Kecamatan Pasir Sakti tahun 2000-2003 .....	39
10. Peta perubahan luasan tutupan lahan di sekitar kawasan mangrove Kecamatan Pasir Sakti tahun 2003-2008 .....	40
11. Peta perubahan luasan tutupan lahan di sekitar kawasan mangrove Kecamatan Pasir Sakti tahun 2008-2010 .....	41
12. Peta perubahan luasan tutupan lahan di sekitar kawasan mangrove Kecamatan Pasir Sakti tahun 2010-2013 .....	42
13. Peta perubahan luasan tutupan lahan di sekitar kawasan mangrove Kecamatan Pasir Sakti tahun 2015-2019 .....	43
14. Peta perubahan luasan tutupan lahan di sekitar kawasan mangrove Kecamatan Pasir Sakti tahun 2020-2022 .....	44

15. Peta perubahan tutupan lahan pada kawasan mangrove di Kecamatan Pasir Sakti tahun 1995-2013 .....	48
16. Peta perubahan tutupan lahan pada kawasan mangrove Kecamatan Pasir Sakti tahun 2013-2022 .....	49
17. Peta titik lokasi sampling di kawasan mangrove Kecamatan Pasir Sakti .....	54
18. Perubahan stok karbon pada kawasan mangrove di Kecamatan Pasir Sakti tahun 1995-2022 .....	57
19. Potensi emisi CO <sub>2</sub> akibat degradasi di kawasan mangrove di Kecamatan Pasir Sakti tahun 1995-2022 .....	59
20. Potensi emisi CO <sub>2</sub> akibat deforestasi di kawasan mangrove di Kecamatan Pasir Sakti tahun 1995-2022 .....	60
21. Hubungan antara luas, stok karbon, dan emisi CO <sub>2</sub> .....	63

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Perubahan luasan tutupan lahan di kawasan mangrove Kecamatan Pasir Sakti tahun 1995-2022.....	79
2. Stok karbon di kawasan mangrove Kecamatan Pasir Sakti tahun 1995-2022.....	79
3. Perubahan luasan tutupan lahan di kawasan mangrove Kecamatan Pasir Sakti tahun 1995-2022.....	79
4. Data hasil survei lapangan ( <i>ground check</i> ) tutupan lahan di kawasan mangrove Kecamatan Pasir Sakti.....	80

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Ekosistem mangrove memiliki potensi untuk menyimpan karbon lebih besar bila dibandingkan dengan tipe hutan lainnya (hutan tropis, hutan subtropis, dan hutan boreal) (Donato *et al.*, 2011). Tinggi rendahnya kandungan karbon dipengaruhi oleh kemampuan ekosistem mangrove menyerap karbon dari udara melalui proses fotosintesis. Proses fotosintesis diawali dengan pengikatan CO<sub>2</sub> dari udara oleh vegetasi mangrove dan kemudian akan disimpan dalam bentuk biomassa tanaman, yang akan tersiklus kembali ke atmosfer (Sutaryo, 2009). Pengukuran jumlah kandungan karbon yang tersimpan pada ekosistem mangrove dapat menggambarkan jumlah CO<sub>2</sub> yang diserap dari atmosfer oleh mangrove (Amanda *et al.*, 2021). Penyerapan stok karbon merupakan salah satu upaya untuk menekan laju perubahan iklim.

Pada konteks perubahan iklim, perubahan penggunaan lahan dapat berperan sebagai sumber (*source*) dan penyerap (*sink*) karbon, tergantung pada jenis penggunaannya. Seiring bertambahnya populasi, penggunaan lahan (pemukiman, pertanian, maupun tambak) oleh manusia juga semakin bertambah. Perubahan penggunaan lahan yang disebabkan oleh tekanan urbanisasi yang cepat umumnya memiliki dampak negatif pada ekologi lokal dan lingkungan yang ditunjukkan dengan adanya konversi lahan, dari lahan yang bervegetasi menjadi lahan nonvegetasi, yang akan memengaruhi penyimpanan stok karbon (Hualong *et al.*, 2014).

Perubahan penggunaan lahan memberikan ancaman terhadap kelestarian ekosistem mangrove. Kerusakan ekosistem mangrove banyak disebabkan oleh adanya pembukaan kawasan hutan untuk dijadikan lahan tambak udang hingga mencapai 48%. Wiryawan *et al.* (1999) menyatakan bahwa kawasan pesisir sepanjang Pantai Lampung Timur (tidak termasuk Taman Nasional Way Kambas), hampir seluruhnya telah diubah yang awalnya adalah rawa-rawa dan hutan mangrove menjadi lahan pertanian padi dan tambak udang windu. Sebagian besar tambak tersebut berupa tambak tradisional dan sisanya adalah tambak semi intensif serta intensif. Perubahan lahan tambak tersebut dapat dikatakan sebagai konversi lahan karena terdapat perubahan fungsi lahan yang semula sebagai ekosistem mangrove menjadi lahan tambak perikanan (Arizona & Tandjung, 2009).

Perubahan penggunaan lahan yang terjadi pada kawasan mangrove di Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur, disebabkan oleh degradasi, deforestasi, dan reboisasi. Degradasi adalah proses berkurangnya kuantitas tutupan hutan, misalnya hutan mangrove primer, yang berubah menjadi hutan mangrove sekunder, sedangkan deforestasi adalah perubahan lahan hutan menjadi nonhutan misalnya dari hutan mangrove berubah menjadi tambak. Adapun kegiatan reboisasi dapat meningkatkan kerapatan dan bahkan luasan mangrove. Pada tahun 2004 ekosistem mangrove di Kecamatan Pasir Sakti hanya tersisa sedikit saja dan nyaris hilang yang menyebabkan terjadi abrasi di daerah pesisir (Yuliasamaya *et al.*, 2014). Oleh karena itu, dibentuklah masyarakat peduli lingkungan yang sadar akan peran penting ekosistem mangrove bagi lingkungan dan masyarakat sekitar. Yuliasamaya *et al.* (2014) menyatakan bahwa hutan mangrove di Pasir Sakti pada tahun 2013 didominasi oleh jenis *Avicennia marina* dengan kondisi substrat yang berlumpur dan membentang seluas 296 hektar.

Bertambahnya luasan mangrove tersebut disebabkan adanya kegiatan pelestarian mangrove yang dilakukan oleh Kelompok Tani Mutiara Hijau I. Pada tahun 2011 kelompok tani tersebut telah membuat *areal model arboretum mangrove* seluas 10 ha. Pada tahun 2012 juga melakukan pembangunan Kebun Bibit Rakyat (KBR), dimana dari kegiatan tersebut mampu mengembalikan luasan tutupan mangrove yang hilang dan bahkan melampaui luasan mangrove 20 tahun sebelumnya

(Yuliasamaya *et al.*, 2014). Penambahan luasan mangrove dapat meningkatkan serapan CO<sub>2</sub> pada mangrove. Kerusakan ekosistem mangrove dapat menyebabkan berkurangnya tingkat kerapatan, nilai biomassa, serta daya dukung ekosistem mangrove sebagai penyerap karbon (Amanda *et al.*, 2021).

Penyerapan karbon terjadi jika lahan mangrove dengan tutupan dan nilai karbon rendah (mangrove sekunder) berubah menjadi tutupan dengan nilai karbon tinggi (mangrove primer). Tutupan mangrove yang tidak mengalami perubahan, dapat dikatakan bahwa mangrove tersebut tidak menghasilkan emisi atau penyerapan. Kegiatan alih fungsi lahan mangrove berdampak besar terhadap stok karbon, sehingga perlu diukur atau dihitung untuk mengetahui stok karbon pada waktu tertentu, serta untuk mengetahui seberapa besar perubahan stok karbon yang disebabkan oleh degradasi dan deforestasi (Wibowo *et al.*, 2013). Oleh karena itu, dilakukan penelitian untuk mempelajari perubahan luasan kawasan mangrove sehingga dapat memperhitungkan besarnya nilai stok karbon dan emisi karbon akibat perubahan tutupan lahan di Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur. Hal tersebut dapat dilakukan dengan teknologi citra satelit yang didukung oleh teknik penginderaan jauh yang merupakan interpretasi dan analisis citra yang kemudian dilakukan uji lapangan.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut:

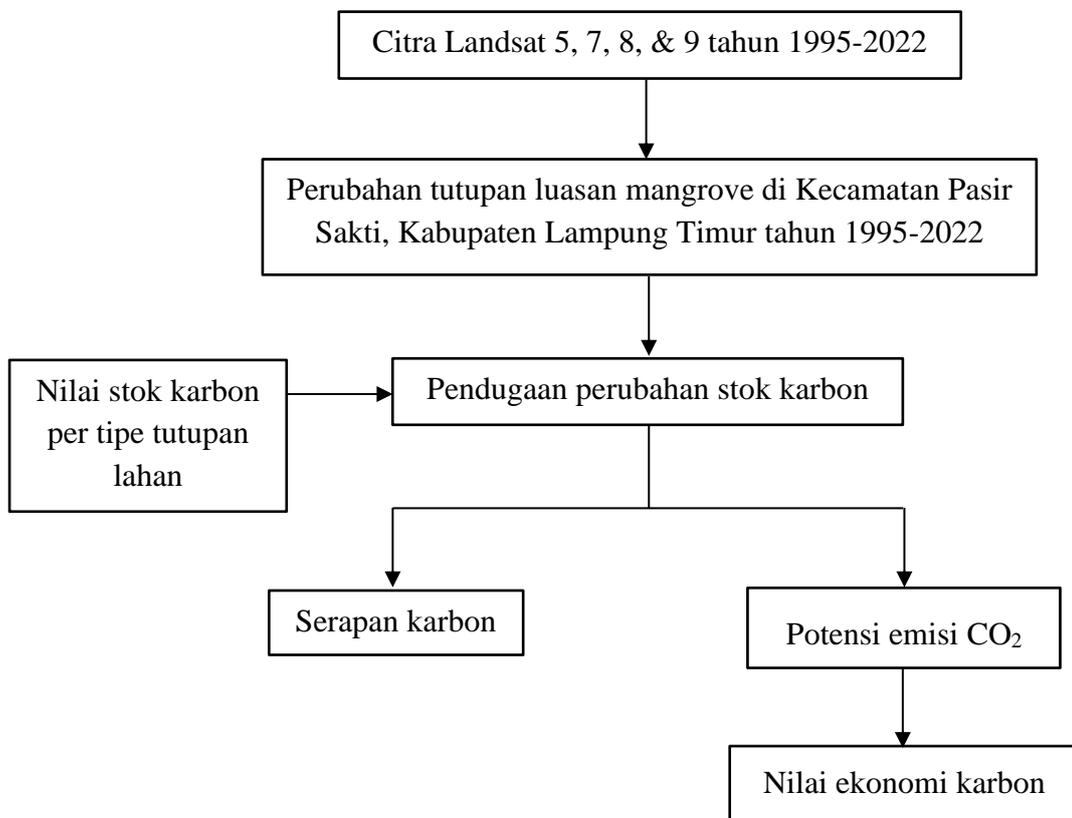
1. Memetakan perubahan luasan ekosistem mangrove yang mengakibatkan adanya perubahan stok karbon pada kawasan mangrove di Kecamatan Pasir Sakti dalam kurun waktu 1995-2022.
2. Menganalisis emisi CO<sub>2</sub> akibat perubahan tutupan lahan di ekosistem mangrove Kecamatan Pasir Sakti dalam kurun waktu 1995-2022.
3. Menganalisis hubungan antara perubahan luasan, stok karbon, dan potensi emisi CO<sub>2</sub> pada kawasan mangrove di Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur.

### **1.3 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian adalah dapat digunakan sebagai informasi, baik bagi pemerintah maupun masyarakat, untuk pertimbangan dalam perlindungan kawasan mangrove agar fungsi mangrove sebagai penyerap karbon tetap terjaga sehingga peranan mangrove dalam mengatasi pemanasan global dan perubahan iklim tidak terganggu.

### **1.4 Kerangka Pikir**

Citra Landsat 5, 7, 8, dan 9 tahun 1995-2022 digunakan untuk menganalisis perubahan tutupan luasan mangrove di Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur. Kawasan hutan mangrove tersebut selama beberapa tahun mengalami perubahan luasan dan dapat menyebabkan terjadinya perubahan stok karbon. Perubahan luasan hutan mangrove berupa penambahan luasan dapat meningkatkan serapan karbon dari atmosfer sehingga stok karbon pada hutan mangrove bertambah. Adapun pengurangan luasan mangrove dapat menyebabkan berkurangnya daya dukung ekosistem mangrove sebagai penyerap karbon dan menimbulkan potensi emisi CO<sub>2</sub> ke atmosfer. Kemudian dilakukan penghitungan nilai ekonomi karbon sehingga terlihat besaran kerugian yang diperoleh jika terjadi kerusakan kawasan mangrove. Pengetahuan akan potensi mangrove sebagai penyerap karbon dapat mengurangi hilangnya kawasan mangrove, sehingga kemampuan mangrove untuk menyerap karbon di atmosfer tidak hilang. Kerangka pikir penelitian terdapat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka pikir penelitian

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Ekosistem Mangrove di Kecamatan Pasir Sakti

Mangrove merupakan komponen utama dari sumber daya dan ekosistem pesisir yang memiliki fungsi unik dalam lingkungan hidup. Ekosistem mangrove memperoleh pengaruh dari laut dan daratan sehingga terjadi interaksi kompleks antara sifat fisik dan sifat biologinya. Sifat fisik yang dimiliki oleh mangrove menjadikannya mampu berperan sebagai penahan ombak, penangkap nutrisi, dan bahkan penahan abrasi laut. Begitu pula dengan proses dekomposisi yang terjadi, dimana serasah mangrove bisa menjadi penunjang bagi kehidupan makhluk yang ada di dalamnya. Di daerah pantai terjadi pertumbuhan penduduk yang relatif pesat yang dapat mengakibatkan terjadinya perubahan tataguna lahan dan pemanfaatan sumber daya alam yang secara berlebihan, sehingga menyebabkan hutan mangrove cepat menipis dan rusak (Dahuri, 2003).

Hutan mangrove yang berubah dari hutan mangrove primer dan hutan mangrove sekunder menjadi areal nonhutan diakibatkan oleh terjadinya konversi lahan terutama untuk pembukaan areal pertambakan, perkebunan, hingga pertanian. Hutan mangrove primer adalah hutan alami yang belum pernah dilakukan penebangan ataupun campur tangan manusia, sedangkan hutan mangrove sekunder adalah hutan yang dikelola oleh manusia dengan tujuan agar fungsinya dapat menyamai hutan primer (Hidayah & Suharyo, 2018). Akan tetapi, kenyataannya pemanfaatan hutan alam yang telah dilakukan penebangan meninggalkan beberapa permasalahan, seperti kondisi hutan yang beragam dan nilai keanekaragaman hayatinya yang tidak lagi bisa menyamai hutan primer (Muhdin *et al.*, 2009). Degradasi yang terjadi mengakibatkan penurunan produktivitas hutan mangrove, baik dari segi ekonomi, sosial, dan bahkan lingkungan dan budaya.

Berdasarkan penelitian Safe'i *et al.* (2019), hutan mangrove yang terdapat di Pasir Sakti memiliki status kesehatan 50% dalam kondisi baik, 16,67% kondisi sedang, dan 33,33% pada kondisi yang buruk. Tingkat kerusakan ekosistem mangrove dapat dikategorikan menjadi 3 kondisi, yaitu rusak berat, rusak sedang, dan rusak ringan. Mangrove dengan kondisi rusak berat ditandai dengan tingkat kerapatan <1.000 pohon/hektar dan tutupan <50%, serta ditandai dengan habis atau hilangnya hutan mangrove, terjadi kerusakan terhadap keseimbangan ekologi, terjadi intrusi air laut, dan menurunnya kualitas tanah. Kondisi mangrove rusak sedang ditandai dengan masih tersisanya hutan mangrove, walaupun sedikit dalam satu wilayah, keseimbangan ekologi dalam tingkatan sedang, dan intrusi air laut tidak terlalu parah, dan dengan tingkat kerapatan antara 1.000-1.500 pohon/hektar, serta tutupan  $\geq 50\%$  - <75%. Adapun mangrove dengan kategori rusak ringan ditandai dengan tingkat kerapatan  $\geq 1.500$  pohon/hektar dan tutupan  $\geq 75\%$  (DKP, 2008).

Berdasarkan analisis spasial yang telah dilakukan oleh Yuliasamaya *et al.* (2014), bahwa hutan mangrove yang terdapat di Pasir Sakti pada tahun 2013 didominasi oleh jenis *Avicennia marina* dengan kondisi substrat yang berlumpur dan membentang seluas 296 hektar. Luasan mangrove tersebut pernah berkurang secara drastis yang diakibatkan oleh semakin meningkatnya tingkat aktivitas masyarakat (Yuliasamaya *et al.*, 2014). Pada tahun 2004 hutan mangrove yang terdapat di Pasir Sakti nyaris hilang dan hanya tersisa sedikit saja. Namun dengan adanya masyarakat yang peduli terhadap lingkungan dan menyadari bahwa mangrove sangat penting bagi lingkungan dan masyarakat, mereka mulai melakukan kegiatan penanaman mangrove secara rutin sehingga saat ini kondisi vegetasi mangrove masih baik.

Indikator keberhasilan untuk pengelolaan hutan lestari bergantung pada kondisi ekosistem setempat dan sistem penghijauan yang diterapkan. Menurut Safe'i & Tsani (2016), salah satu faktor yang dapat mendukung prinsip pengelolaan hutan lestari dan dapat digunakan untuk mengendalikan fungsi hutan adalah kesehatan hutan. Nuhamara & Kasno (2001) menjelaskan bahwa jika hutan dapat menjalankan fungsinya dengan sebaik-baiknya atau setidaknya sesuai dengan fungsi pokok yang telah ditentukan sebelumnya, maka dapat dikatakan hutan itu sehat.

Adanya kerusakan hutan dan konversi hutan mangrove dapat memberikan pengaruh langsung terhadap fungsi hutan sebagai penyerap karbon.

## 2.2 Karbon di Ekosistem Mangrove

Secara sederhana dinamika karbon di alam dapat disebut dengan siklus karbon. Siklus karbon adalah siklus biogeokimia, termasuk pertukaran atau pergerakan karbon yang terjadi antara biosfer, pedosfer, geosfer, hidrosfer, dan atmosfer bumi. Siklus karbon sebenarnya merupakan proses yang kompleks, dan setiap proses memengaruhi proses lainnya. Tumbuhan akan mereduksi karbon atmosfer ( $\text{CO}_2$ ) melalui proses fotosintesis dan menyimpannya dalam jaringan tumbuhan. Sebelum karbon didaur ulang kembali ke atmosfer, karbon akan menempati salah satu dari beberapa sumber karbon. Semua komponen vegetasi, termasuk pohon, semak, tanaman merambat dan epifit, merupakan bagian dari biomassa di atas tanah. Di bawah permukaan tanah yaitu terdapat akar tanaman dan tanah itu sendiri yang juga merupakan penyimpan karbon (Sutaryo, 2009).

Mangrove merupakan salah satu parameter ekosistem *blue carbon*. Mangrove berperan dalam pemanfaatan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) untuk proses fotosintesis dan kemudian menyimpannya dalam cadangan biomassa dan sedimen (Kohl *et al.*, 2017). Jumlah karbon yang tersimpan pada setiap jenis vegetasi mangrove berbeda bergantung pada massa jenis kayu. Semakin tinggi massa jenis kayu maka akan semakin banyak kandungan biomassa. Dengan demikian, semakin banyak pula kandungan karbon yang tersimpan. Proses penyerapan karbon oleh mangrove akan tetap terus berlangsung selama pohon atau tegakan mangrove tersebut masih hidup. Apabila pohon mangrove mati secara alami ataupun akibat dari penebangan, maka akan menghentikan proses penyerapan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dari atmosfer (Senoaji & Hidayat, 2016).

Hutan mangrove memiliki tingkat intensitas yang lebih tinggi dalam menyerap karbon bila dibandingkan dengan tumbuhan daratan lainnya. Jumlah simpanan karbon hutan mangrove lebih besar dibandingkan dengan hutan lainnya, yaitu sebesar 51,86 ton/ha, hutan sekunder sebesar 37,39 ton/ha, hutan rawa sebesar 38,77

ton/ha, agroforestri sebesar 36,84 ton/ha, dan perkebunan kelapa sawit sebesar 0,1 ton/ha. Adapun pelepasan emisi CO<sub>2</sub> ke atmosfer, hutan mangrove lebih kecil dibandingkan dengan hutan daratan lainnya karena pembusukan serasah oleh tanaman akuatik yang tidak melepaskan karbon ke atmosfer (Al Hazmi *et al.*, 2017).

Jumlah karbon yang tersimpan pada setiap wilayah akan berbeda-beda, karena dipengaruhi oleh keragaman jenis mangrove, kepadatan mangrove, jenis tanah dan cara pengelolaannya. Penyimpanan stok karbon suatu lahan akan menjadi lebih besar apabila kondisi tanahnya semakin subur atau dapat dikatakan kondisi tanah akan memengaruhi keragaman dan kepadatan mangrove. Jika kepadatan dan keragaman mangrove tinggi maka jumlah karbon yang tersimpan di dalam tanah (bahan organik tanah) juga tinggi sehingga jumlah karbon yang tersimpan di atas tanah (biomassa tanaman) juga akan semakin tinggi (Hairiah & Rahayu, 2007). Pendapat tersebut sejalan dengan beberapa hasil penelitian terhadap perbedaan jumlah kandungan karbon dan biomassa pada masing-masing ekosistem karena pengaruh aspek fisik, kimia dan biologi. Hasil penelitian Adame *et al.* (2013) menyatakan bahwa jumlah kandungan karbon pada ekosistem mangrove dengan vegetasi pohon tinggi dan berasosiasi dengan air tawar memiliki jumlah kandungan karbon tertinggi, sedangkan pada daerah rawa memiliki jumlah terkecil, nilainya berturut-turut sebesar 591,07 ton/ha dan 111,52 ton/ha.

Kepadatan mangrove mempunyai korelasi yang positif terhadap kandungan biomassa, semakin tinggi kepadatan mangrove maka akan semakin tinggi pula kandungan biomasanya (Irsadi *et al.*, 2017). *Rhizophora* sp. memiliki jenis kepadatan kayu yang paling tinggi bila dibandingkan dengan spesies *Avicennia* sp. *Rhizophora* sp. memiliki nilai kepadatan spesies kayu sebesar 0,8-0,9 g/cm<sup>3</sup>, sedangkan *Avicennia* sp. sebesar 0,6-0,7 g/cm<sup>3</sup>. Chanan (2012) menyatakan, setiap penambahan kandungan biomassa akan diikuti oleh penambahan kandungan stok karbon. Hal ini menjelaskan bahwa karbon dan biomassa memiliki hubungan yang positif sehingga apapun yang menyebabkan peningkatan ataupun penurunan biomassa maka akan menyebabkan peningkatan atau penurunan kandungan stok karbon.

Emisi yang dilepaskan oleh hutan mangrove ke udara jumlahnya lebih kecil bila dibandingkan dengan hutan lainnya. Hal tersebut karena proses pembusukan serasah tanaman akuatik tidak melepaskan karbon ke udara dan juga tumbuhan mangrove memiliki banyak daun sehingga lebih berpotensi menyerap karbon yang lebih banyak dari tumbuhan lain. Adapun tanaman hutan tropis yang mati dan mengalami pembusukan akan melepaskan sekitar 50% karbonnya ke udara. Dengan adanya kemampuan mangrove untuk menyerap karbon, maka peningkatan emisi yang ada di alam dapat dikurangi (Purnobasuki, 2012).

Deforestasi adalah kegiatan mengonversi hutan menjadi penggunaan lahan lainnya, baik itu menjadi lahan tambak, pertanian, pemukiman, dan lainnya. Deforestasi hutan bakau menghasilkan pelepasan karbon dan endapan mangrove akan tetap terisolasi selama ribuan tahun. Penelitian yang dilakukan oleh Kauffman & Donato (2012) mencatat jumlah kandungan karbon pada lahan bervegetasi mangrove lebih tinggi dibandingkan dengan jumlah kandungan karbon pada tambak udang, dimana nilainya berturut-turut 504,53 ton/ha dan 42,38 ton/ha. Oleh karena itu, mengubah mangrove menjadi tambak udang, seperti yang dilakukan saat ini, akan mempercepat pelepasan karbon ke atmosfer. Kegiatan mengubah hutan mangrove menjadi pemukiman yang diakibatkan bertambahnya populasi manusia yang terkonsentrasi pada garis pantai akan menggeser vegetasi aslinya. Oleh karena itu, dengan mencegah deforestasi, negara berkembang dapat secara efektif mengurangi emisi CO<sub>2</sub> dan mengurangi pemanasan global (Purnobasuki, 2012).

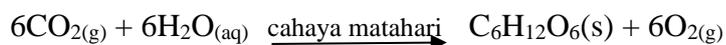
### **2.2.1 Serapan Karbon**

Hutan mangrove merupakan ekosistem yang memiliki kemampuan asimilasi dan penyerapan karbon yang tinggi. Hutan mangrove sebagaimana hutan lainnya juga memiliki peran sebagai penyerap karbon di udara. Hutan mangrove dapat menyerap karbon lebih tinggi dibandingkan dengan hutan lainnya (Donato *et al.*, 2011). Proses penyerapan karbon dapat terjadi dengan bantuan proses fotosintesis yang mengubah karbon anorganik (CO<sub>2</sub>) menjadi karbon organik dalam bentuk bahan vegetasi. Di sebagian besar ekosistem, bahan tersebut akan terurai atau membusuk dan melepaskan karbon kembali ke atmosfer dalam bentuk karbon dioksida.

Namun demikian, berbeda dengan mangrove dimana tumbuhan tersebut banyak mengandung bahan organik yang tidak terurai. Oleh karena itu, mangrove lebih berfungsi sebagai penyerap karbon (*carbon sink*) daripada sumber karbon (*carbon source*) (Davis & Natarina, 1995).

Menurut Sumargo *et al.* (2011) hutan bermanfaat sebagai penyerap karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan penghasil oksigen (O<sub>2</sub>). Ketika hutan ditebang, biomassa yang terkandung dalam pohon rusak atau terurai dan melepaskan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), yang kemudian akan meningkatkan konsentrasi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer. Atmosfer yang kaya karbon dioksida, akan memerangkap panas yang terpancar dari permukaan bumi. Emisi karbon dioksida disebabkan oleh dampak dari aktivitas manusia yang dimana kontribusinya terhadap pemanasan global melebihi 55% (Sumargo *et al.*, 2011).

Penyerapan karbon dioksida oleh tanaman adalah kemampuan tanaman untuk menyerap karbon dioksida melalui stomata yang melimpah di permukaan daun (Salisbury & Ross, 1995). Karbon dioksida adalah zat yang digunakan untuk memperoleh energi dan kemudian mengubahnya menjadi gugus gula dan oksigen selama proses fotosintesis. Untuk menentukan massa karbon dioksida yang diserap oleh tanaman dapat diketahui dengan menentukan massa karbohidrat yang dihasilkan selama fotosintesis (Sukmawati *et al.*, 2007). Proses terjadinya fotosintesis disajikan pada persamaan kimia berikut.



### 2.2.2 Emisi Karbon

Emisi karbon didefinisikan sebagai pelepasan gas yang mengandung karbon ke atmosfer. Emisi karbon dalam penelitian yang dilakukan adalah karbon dioksida, yang merupakan bagian dari gas rumah kaca yang harus dikurangi oleh negara-negara anggota dalam amandemen Protokol Kyoto (UNFCCC, 1998). Fokus pengurangan emisi karbon adalah emisi yang ditimbulkan dari kegiatan industri (Irwhantoko & Basuki, 2016). Emisi adalah zat, energi, atau unsur lain yang diperoleh sebagai akibat dari kegiatan yang masuk dan/atau terkandung dalam udara ambien

dengan atau tanpa potensi sebagai unsur pencemar (PP No. 41 Tahun 1999). Pada umumnya, satuan dari emisi adalah kilogram/tahun, meter<sup>3</sup>/hari atau satuan massa atau volume per satuan waktu.

Emisi karbon yaitu jumlah total karbon yang dihasilkan oleh suatu kegiatan. Hasil emisi dapat berupa gas CO atau gas CO<sub>2</sub> yang dihasilkan secara langsung maupun tidak langsung oleh aktivitas manusia. Emisi karbon terutama emisi gas karbon dioksida, merupakan gas rumah kaca (GRK) yang dapat meningkatkan efek rumah kaca (ERK), yang pada gilirannya meningkatkan suhu rata-rata permukaan bumi, yang juga dikenal sebagai pemanasan global. Faktor emisi adalah nilai representatif yang berkorelasi dengan jumlah polutan yang dilepaskan ke atmosfer dari aktivitas yang terkait dengan sumbernya. Faktor-faktor tersebut biasanya dinyatakan sebagai berat polutan dibagi dengan berat unit, volume, jarak, atau durasi aktivitas yang mengeluarkan polutan (misalnya, partikel yang diemisikan gram per liter bahan bakar yang dibakar) (Sagala, 2012).

### **2.3 Penggunaan Lahan**

Lahan adalah lingkungan fisik yang meliputi tanah, iklim, topografi, hidrologi dan vegetasi yang memengaruhi pemanfaatannya (Hardjowigeno & Widiatmaka, 2011). Penggunaan lahan adalah suatu bentuk aktivitas manusia dalam memanfaatkan lahan, termasuk kondisi alam yang belum terpengaruh oleh aktivitas manusia. Dari kegiatan tersebut kemudian menyebabkan terjadinya penggunaan lahan yang sangat beragam sesuai dengan peruntukannya (Herlina *et al.*, 2011). Karakteristik penggunaan tutupan lahan suatu kawasan dipengaruhi oleh kondisi bio-fisik dan sosial ekonomi masyarakat (Haryadi, 2007).

Bentuk penggunaan lahan pada suatu wilayah atau kawasan sangat dipengaruhi oleh pertumbuhan penduduk dan aktivitas penduduk. Pertumbuhan penduduk dan aktivitas di wilayah pesisir tergolong tinggi, yang dapat mengakibatkan perubahan penggunaan lahan yang relatif cepat. Menurut Dahuri (2003), pada tahun 2010 diperkirakan sekitar 24 juta hektar ruang hijau di pesisir telah diubah menjadi lahan terbangun dan pemukiman. Perubahan penggunaan lahan menguntungkan secara

ekonomi, tetapi jika tidak dimanfaatkan atau tidak dikelola dengan baik akan berbahaya bagi masyarakat pesisir itu sendiri. Perubahan penggunaan lahan yang tidak terkendali dapat menjadi ancaman bagi daya dukung dan keberlanjutan sumber daya pesisir (Hidayah & Suharyo, 2018).

### 2.3.1 Degradasi

Degradasi hutan adalah peristiwa penurunan kuantitas tutupan hutan dan stok karbon selama periode tertentu. Degradasi hutan didefinisikan sebagai konversi lahan hutan primer menjadi hutan sekunder. Penyebabnya meliputi:

1. Kebakaran antropogenik atau yang disebabkan oleh manusia.
2. Penebangan atau pembukaan lahan yang diikuti dengan regenerasi alami (sehingga mengakibatkan kawasan hutan untuk sementara tidak lestari).
3. Tebang pilih di hutan sekunder dengan teknik tradisional (termasuk degradasi karena dampaknya terhadap stok karbon yang lebih besar).
4. Konversi lahan hutan alam menjadi hutan tanaman, atau terdeteksi adanya gangguan hutan pada suatu kawasan tetapi lahannya masih memenuhi standar minimal lahan hutan (lahan hutan tetap menjadi lahan hutan).

Degradasi adalah suatu proses dimana terjadi penurunan kapasitas, baik saat sekarang maupun masa mendatang, dalam memberikan hasil (*product*). Penebangan hutan mangrove yang semena-mena merupakan degradasi lahan. Tidak terkendali dan tidak terencananya penebangan hutan mangrove secara baik merupakan bahaya ekologis yang paling besar. Kerusakan hutan akan berpengaruh terhadap habitat semua makhluk hidup yang ada di dalamnya (Oldeman, 1992).

Berdasarkan pada Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 201 Tahun 2004 diketahui bahwa hutan mangrove yang mengalami degradasi dapat dibedakan menjadi tiga tingkatan yaitu:

1. Baik (Sangat Padat)  
Kerusakan hutan mangrove yang tergolong sangat baik apabila jumlah populasi pohon mangrove yang menutupi ekosistem hutan mangrove lebih dari 75 persen dan jumlah kerapatan pohon mangrove lebih dari 1.500 pohon/hektar.

## 2. Kerusakan Ringan (Sedang)

Kerusakan hutan mangrove yang tergolong sedang apabila jumlah populasi pohon mangrove yang menutupi ekosistem hutan mangrove lebih dari 50 persen dan kurang dari 75 persen dan jumlah kerapatan pohon mangrove lebih dari 1.000 dan kurang dari 1.500 pohon/hektar.

## 3. Kerusakan Berat (Jarang)

Kerusakan hutan mangrove yang tergolong berat apabila jumlah populasi pohon mangrove yang menutupi ekosistem hutan mangrove kurang dari 50 persen dan jumlah kerapatan pohon mangrove kurang dari 1.000 pohon/hektar.

### 2.3.2 Deforestasi

Istilah deforestasi pada studi hutan mangrove sering ditemukan beberapa masalah. Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat beberapa perbedaan dalam penggunaan istilah deforestasi. Pertama, deforestasi berarti hilangnya areal hutan secara permanen atau sementara. World Bank (1990) menyatakan bahwa hilangnya areal hutan secara permanen ataupun sementara merupakan deforestasi. Jika menggunakan istilah tersebut, maka kematian mangrove secara alami dan peladangan tradisional yang dilakukan masyarakat secara gilir balik (ladang berpindah) yang akan kembali beregenerasi menjadi hutan merupakan deforestasi. Dengan definisi seperti itu, kawasan yang mengalami deforestasi secara keseluruhan menjadi sangat besar. Kedua, terdapat dualisme arti deforestasi yaitu hilangnya areal hutan untuk segala macam penggunaan, dan hilangnya areal hutan yang tidak menghasilkan kayu (Sunderlin & Resosudarmo, 1997). Apabila pengertian kedua yang diakui, maka kegiatan konversi lahan untuk tambak dan untuk pemukiman termasuk deforestasi, sedangkan pengambilan kayu untuk keperluan komersil tidak termasuk deforestasi karena hutan akan kembali tumbuh (*recovery*) seperti jenis *Acrostocum* sp (Abdulhadi & Suhardjono, 1994). Ketiga, deforestasi berarti hilangnya areal hutan termasuk berbagai ciri-ciri kelengkapan hutan (*forest attributes*), misalnya kelembatan, struktur, dan komposisi spesiesnya. Jika deforestasi hanya menyangkut hilangnya tutupan hutan saja maka luas deforestasi menjadi lebih kecil. Padahal degradasi hutan yakni kerusakan pada atribut hutan juga merupakan bagian penting pada suatu ekosistem.

Berdasarkan Permen Kehutanan RI No. P.30/Menhut-II Tahun 2009, deforestasi adalah perubahan secara permanen dari areal berhutan menjadi tidak berhutan yang disebabkan oleh kegiatan manusia. Hal tersebut sejalan dengan definisi yang dinyatakan oleh FAO (2001) bahwa deforestasi adalah konversi hutan menjadi penggunaan lahan lain atau pengurangan jangka panjang pada tutupan kanopi. Berkaitan dengan hal tersebut, deforestasi adalah perubahan secara permanen lahan hutan menjadi lahan nonhutan akibat aktivitas manusia atau konversi hutan menjadi penggunaan lahan lainnya. Kerugian hanya dapat disebabkan oleh faktor manusia atau gangguan alam. Konversi tersebut meliputi konversi lahan hutan menjadi lahan pertanian, padang rumput, pemukiman, lahan basah dan lahan lainnya.

Laju perubahan kawasan mangrove setengah abad terakhir mencapai 30-50%. Hilangnya ekosistem mangrove disebabkan alih fungsi lahan besar-besaran untuk areal pertambakan, pembangunan kota pesisir ataupun penebangan (Donato *et al.*, 2011). Adapun menurut Kusmana *et al.* (2003) terjadinya deforestasi mangrove disebabkan oleh:

1. Konversi hutan mangrove menjadi bentuk penggunaan lahan lain, seperti pemukiman, pertanian, industri, pertambangan, dan lain-lain.
2. Kegiatan eksploitasi hutan yang tidak terkendali oleh perusahaan-perusahaan (hak pengusahaan hutan/HPH) serta penebangan liar dan bentuk perambahan hutan lainnya.
3. Polusi di perairan estuaria, pantai, dan lokasi-lokasi perairan lain tempat tumbuhnya mangrove.
4. Terjadinya pembelokan aliran sungai maupun proses abrasi atau sedimentasi yang tidak terkendali.

#### **2.4 Penginderaan Jauh**

Penginderaan jauh adalah ilmu atau seni yang menggunakan alat bantu untuk memperoleh data atau informasi tentang objek atau fenomena tanpa melakukan kontak langsung dengan objek tersebut. Ada dua sistem tenaga dalam penginderaan jauh, yaitu sistem sensor aktif dan sistem sensor pasif. Sistem sensor aktif

adalah sistem sensor yang menggunakan sumber tenaga yang terintegrasi dengan wahana. Sinar akan memantul kembali ke objek dengan bantuan radar yang mengirimkannya. Pada sistem sensor pasif, sumber daya utama yang dibutuhkan satelit yang tidak terintegrasi pada wahana yang dapat berupa energi matahari. Matahari memiliki energi dan bergerak di atmosfer dalam bentuk radiasi gelombang elektromagnetik. Beberapa dari gelombang elektromagnetik tersebut akan dipantulkan, diserap, dan ditransmisikan. Kecepatan sensor tergantung pada karakteristik spektral objek (Arhatin, 2010).

Penginderaan jauh semakin banyak digunakan karena banyak manfaatnya, antara lain pemanfaatan objek penginderaan jauh di permukaan bumi yang dapat digambarkan sesuai dengan bentuk dan letak objek sebagaimana adanya di dunia nyata. Dan juga citra yang terdapat pada penginderaan jauh yang dilihat dengan stereoskop, transmisi citra sensitif juga dapat menghasilkan efek 3D (Nurmalasari & Santosa, 2016). Berdasarkan hal tersebut maka citra yang dihasilkan oleh penginderaan jauh dapat diaplikasikan untuk berbagai kebutuhan sesuai dengan fungsi dan spesifikasinya yang dapat membantu pekerjaan manusia, seperti menggunakan teknologi penginderaan jauh yang telah banyak digunakan untuk menganalisis vegetasi. Hal tersebut karena kemampuan citra memiliki banyak keunggulan, seperti resolusi waktu yang baik dan kemampuan untuk mencakup area yang luas dalam waktu yang singkat.

Teknologi dan metode penginderaan jauh yang berbasis spasial dapat merekam dan menganalisis status spasial biomassa dan karbon yang disimpan oleh vegetasi mangrove. Pendugaan potensi karbon yang dilakukan secara langsung mampu memperoleh hasil yang cukup akurat, akan tetapi hal tersebut membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang cukup tinggi terlebih lagi pada kawasan ekosistem mangrove yang luas (Colgan *et al.*, 2013). Oleh karena itu, diperlukan alternatif lain yang lebih efektif untuk melakukan pendugaan stok karbon, yaitu dengan memanfaatkan penggunaan teknologi penginderaan jauh. Penggunaan penginderaan jauh dengan memanfaatkan satelit yang merekam dan menangkap area-area di bumi akan membentuk sebuah citra.

Sensor penginderaan jauh memiliki kemampuan untuk menangkap gelombang yang dipantulkan oleh vegetasi dan non vegetasi, dan bahkan mampu membedakan kualitas (jumlah klorofil) dan kuantitas (*leaf area index/LAI*) vegetasi dari pemanfaatan nilai indeks vegetasi. Nilai indeks vegetasi merupakan nilai yang dihasilkan dari persamaan matematis dari beberapa band penginderaan jauh (citra) yang menghasilkan nilai indeks (As-syakur & Adnyana, 2009). Indeks vegetasi bertujuan untuk lebih memperjelas tampilan benda berklorofil (vegetasi) dibandingkan dengan benda yang tidak memiliki klorofil. Nilai indeks vegetasi dapat memberikan persentase tutupan vegetasi, indeks tumbuhan hidup (*leaf area index*), biomassa tanaman, FAPAR (*Fraction of absorbed photosynthetically active radiation*), kapasitas fotosintesis dan perkiraan serapan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) (Jiang *et al.*, 2008).

## 2.5 Citra Satelit Landsat

Citra satelit Landsat yang dimiliki oleh NASA (National Aeronautics and Space Administration), pertama kali diluncurkan pada bulan Oktober pada tahun 1971, dengan nama ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite). Proyek eksperimental kemudian dilanjutkan dengan peluncuran seri kedua dengan mengganti namanya menjadi Landsat sehingga ERTS-1 diubah menjadi Landsat-1. Landsat bertujuan untuk memperoleh data sumber daya bumi dalam basis yang sistematis dan berulang. Citra Landsat 5 diluncurkan pada tanggal 1 Maret 1984 yang dengan dilengkapi sensor TM (Thematic Mapper) dan memiliki resolusi 30 x 30 m<sup>2</sup> pada band 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7.

Instrumen thematic mapper (TM) merupakan sistem sensor berupa *crosstrack scanner*. Sistem sensor Landsat tersebut merekam data 7 band dari domain terlihat (*visible*) hingga inframerah termal/*long wavelength infrared* (LWIR). Sinar tampak (*visible*) terdiri dari band 1, 2, dan 3, sedangkan untuk inframerah dekat/*near infrared* (NIR) dan inframerah menengah terdiri dari band 4, 5, dan 7, serta untuk inframerah termal (LWIR) terdiri dari band 6. Instrumen tersebut mulai digunakan pada Landsat 5. Sensor yang dimiliki Landsat 5 dapat mengamati obyek-obyek di permukaan bumi dan meliputi daerah yang sama setiap 16 hari dengan ketinggian

orbit 705 km. Namun sejak November 2011 Landsat 5 mengalami gangguan, akibatnya pada tahun 2016 USGS (United States Geological Survey) mengumumkan akan menonaktifkan Landsat tersebut. Karakteristik band Landsat 5 dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik band Landsat 5

Saluran	Panjang Gelombang ( $\mu\text{m}$ )	Fungsi
Band 1 ( <i>Blue</i> )	0,45 – 0,52	Studi tanah, batimetri, identifikasi vegetasi.
Band 2 ( <i>Green</i> )	0,52 – 0,60	Studi menilai kekuatan tanaman.
Band 3 ( <i>Red</i> )	0,63 – 0,69	Membedakan lereng vegetasi.
Band 4 ( <i>Near Infra-Red/NIR</i> )	0,76 – 0,90	Studi biomassa dan garis pantai.
Band 5 ( <i>Short Wavelength Infrared/SWIR 1</i> )	1,55 – 1,75	Studi untuk membedakan kadar air tanah dan vegetasi serta dapat menembus awan.
Band 6 ( <i>Long Wavelength InfraRed/LWIR</i> )	10,40 – 12,50	Studi suhu dan kelembaban tanah.
Band 7 ( <i>Short Wavelength Infrared/SWIR 2</i> )	Inframerah Tengah	Mengetahui peningkatan kadar air dari tanah dan vegetasi serta menetrasi awan tipis.

Sumber: Finn *et al.* (2012)

NASA dan USGS meluncurkan satelit Landsat 7 ETM+ pada tanggal 15 April 1999, dengan spesifikasi yang sedikit berbeda dari satelit Landsat 6 yang gagal diluncurkan ke luar angkasa. Sensor yang dimilikinya adalah *enhanced thematic mapper plus* (ETM+) dan diluncurkan pada ketinggian orbit 705 km. Orbit tersebut tergolong rendah karena dirancang untuk membuat satelit secara potensial dapat dicari oleh pesawat ruang angkasa dan meningkatkan resolusi tanah dari sensor sehingga dapat digunakan untuk pemetaan penutupan lahan dan geologi. Satelit tersebut merupakan satelit observasi bumi dengan resolusi temporal 16 hari. Artinya satelit mampu merekam posisi di lokasi yang sama di permukaan bumi setiap 16 hari. Landsat 7 ETM+ tidak memiliki tampilan *off-nadir*, sehingga tidak dapat menghasilkan cakupan global secara harian. Citra Landsat 7 ETM+ memiliki beberapa kesamaan dengan Landsat TM, dimana ETM atau ETM+ pada Landsat 7 ETM+ adalah sistem sensor yang merupakan perbaikan dari sistem TM dengan tambahan band pankromatik yang memiliki resolusi  $15 \times 15 \text{ m}^2$  untuk

mendapatkan resolusi spasial yang lebih tinggi. Karakteristik band Landsat 7 ETM+ dijelaskan pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik band Landsat 7 ETM+

Saluran	Panjang Gelombang ( $\mu\text{m}$ )	Fungsi
Band 1 ( <i>Blue</i> )	0,450 – 0,515	Studi tanah, batimetri, identifikasi vegetasi.
Band 2 ( <i>Green</i> )	0,525 – 0,605	Studi menilai kekuatan tanaman.
Band 3 ( <i>Red</i> )	0,630 – 0,690	Membedakan lereng vegetasi.
Band 4 ( <i>Near Infra-Red/NIR</i> )	0,775 – 0,900	Studi biomassa dan garis pantai.
Band 5 (SWIR 1)	1,550 – 1,750	Studi untuk membedakan kadar air tanah dan vegetasi serta dapat menembus awan.
Band 6 (LWIR)	10,00 – 12,50	Studi suhu dan kelembaban tanah.
Band 7 (SWIR 2)	2,090 – 2,350	Mengetahui peningkatan kadar air dari tanah dan vegetasi serta menetrasi awan tipis.
Band 8 (Pan)	0,520 – 0,900	Menampilkan gambar yang lebih tajam dengan resolusi sebesar 15 meter.

Sumber: Finn *et al.* (2012)

Regenerasi Landsat telah memasuki seri ke delapan yang bertajuk Landsat 8 yang diluncurkan pada 11 Februari 2013. Landsat tersebut memiliki beberapa keunggulan dibandingkan versi sebelumnya. Salah satu keunggulannya dapat dilihat pada jumlah kanal panjang gelombang yang dimilikinya. Jumlah panjang gelombang total yang dimiliki oleh Landsat 8 adalah 11 saluran, dibagi menjadi dua kategori, *operational land imager* (OLI) dan *thermal infrared sensor* (TIRS). OLI adalah sistem pada Landsat 8 yang merupakan asli buatan dari Ball Aerospace. Sistem sensor tersebut memiliki 9 band dan terdapat 2 band yang baru pada satelit program Landsat, yaitu *deep blue coastal/aerosol band* (0,433–0,453  $\mu\text{m}$ ) untuk deteksi wilayah pesisir serta *shortwave-infrared cirrus band* (1,360–1,390  $\mu\text{m}$ ) untuk mendeteksi awan cirrus. Adapun TIRS terdapat pada satelit Landsat 8, dimana sensor satelit ini dibuat oleh NASA Goddard Space Flight Center, terdapat dua band pada region termal yang mempunyai resolusi spasial 100 x 100 m<sup>2</sup>. Kategori OLI terdiri dari Band 1 hingga Band 9, sedangkan kategori TIRS terdiri dari band 10 dan 11. Setiap band pada citra Landsat memiliki fungsi tertentu (Tabel 3).

Tabel 3. Karakteristik band Landsat 8

Saluran	Panjang Gelombang ( $\mu\text{m}$ )	Fungsi
Band 1 ( <i>Coastal/Aerosol</i> )	0,433 – 0,453	Studi pesisir dan aerosol.
Band 2 ( <i>Blue</i> )	0,450 – 0,515	Studi tanah, batimetri, membedakan antara vegetasi.
Band 3 ( <i>Green</i> )	0,525 – 0,600	Studi menilai kekuatan tanaman.
Band 4 ( <i>Red</i> )	0,630 – 0,680	Membedakan lereng vegetasi.
Band 5 ( <i>Near-Infrared</i> )	0,845 – 0,885	Studi biomassa dan garis pantai.
Band 6 (SWIR 1)	1,560 – 1,660	Studi untuk membedakan kadar air tanah dan vegetasi serta dapat menembus awan.
Band 7 (SWIR 2)	2,100 – 2,300	Mengetahui peningkatan kadar air dari tanah dan vegetasi serta menetrasi awan tipis.
Band 8 (Pan)	0,500 – 0,680	Menampilkan gambar yang lebih tajam dengan resolusi sebesar 15 meter.
Band 9 ( <i>Cirrus</i> )	1,360 – 1,390	Meningkatkan deteksi kontaminasi awan cirrus.
Band 10 (LWIR)	10,3 – 11,3	Studi suhu dan kelembaban tanah.
Band 11 (LWIR 2)	11,5 – 12,5	Studi suhu dan kelembaban tanah.

Sumber: Finn *et al.* (2012)

Landsat 9 diluncurkan pada 27 September 2021 yang mengorbit pada ketinggian 705 km di atas bumi dan mengorbit pada lintasan yang sama dengan Landsat 7 (direncanakan sebagai pengganti Landsat 7). Landsat 9 memiliki kemampuan untuk mengumpulkan gambar sebanyak 750 gambar per harinya, karena Landsat 9 memiliki kecepatan 27.000 km/jam. Jika digabung dengan Landsat 8 dapat mengumpulkan data citra satelit sebanyak 1.500 per harinya. Jumlah tersebut lebih banyak dibandingkan dengan data citra yang digabung antara Landsat 7 dan 8 yang berjumlah 1.200 gambar per harinya. Landsat 9 memiliki 2 sensor, yaitu *operational land imager-2* (OLI-2) dan *thermal infrared sensor-2* (TIRS -2) dengan resolusi spasial yang sama dengan Landsat 8 yaitu 15 m (band pankromatik) dan 30 m (band multispektral) untuk sensor OLI-2 dan 100 m (*long wavelength infrared*) untuk sensor TIRS-2. Karakteristik band Landsat 7 ETM+ dijelaskan pada Tabel 4.

Tabel 4. Karakteristik band Landsat 9

Saluran	Panjang Gelombang ( $\mu\text{m}$ )	Fungsi
Band 1 ( <i>Coastal/Aerosol</i> )	0,433 – 0,453	Studi pesisir dan aerosol.
Band 2 ( <i>Blue</i> )	0,450 – 0,515	Studi tanah, batimetri, membedakan antara vegetasi.
Band 3 ( <i>Green</i> )	0,525 – 0,600	Studi menilai kekuatan tanaman.
Band 4 ( <i>Red</i> )	0,630 – 0,680	Membedakan lereng vegetasi.
Band 5 ( <i>Near-Infrared</i> )	0,845 – 0,885	Studi biomassa dan garis pantai.
Band 6 (SWIR 1)	1,560 – 1,660	Studi untuk membedakan kadar air tanah dan vegetasi serta dapat menembus awan.
Band 7 (SWIR 2)	2,100 – 2,300	Mengetahui peningkatan kadar air dari tanah dan vegetasi serta menetrasi awan tipis.
Band 8 (Pan)	0,500 – 0,680	Menampilkan gambar yang lebih tajam dengan resolusi sebesar 15 meter.
Band 9 ( <i>Cirrus</i> )	1,360 – 1,390	Meningkatkan deteksi kontaminasi awan cirrus.
Band 10 (LWIR)	10,3 – 11,3	Studi suhu dan kelembaban tanah.
Band 11 (LWIR 2)	11,5 – 12,5	Studi suhu dan kelembaban tanah.

Sumber: Finn *et al.* (2012)

## 2.6 Respon Objek terhadap Reflektansi Gelombang Elektromagnetik

Energi yang dipancarkan oleh matahari akan terpecah ke segala arah dengan panjang gelombang yang berbeda, akan tetapi kecepatannya tetap. Energi elektromagnetik adalah paket elektrisitas dan magnetisme yang bergerak dengan kecepatan cahaya pada frekuensi dan panjang gelombang tertentu. Hal tersebut menunjukkan bahwa energi radiasi yang dalam bentuk gelombang elektromagnetik memancarkan berbagai panjang gelombang dengan kecepatan yang bersifat tetap. Energi elektromagnetik oleh matahari dipancarkan dengan suhu yang tinggi dan membentuk energi elektromagnetik yang berhubungan dengan suatu nilai panjang gelombang dan frekuensi (Chanlett, 1979).

Proses perambatan gelombang elektromagnetik tidak membutuhkan medium. Gambaran nilai spektral yang dihasilkan pada perekaman tersebut bergantung pada jumlah energi yang mencapai sensor. Apabila pada suatu luasan terdapat

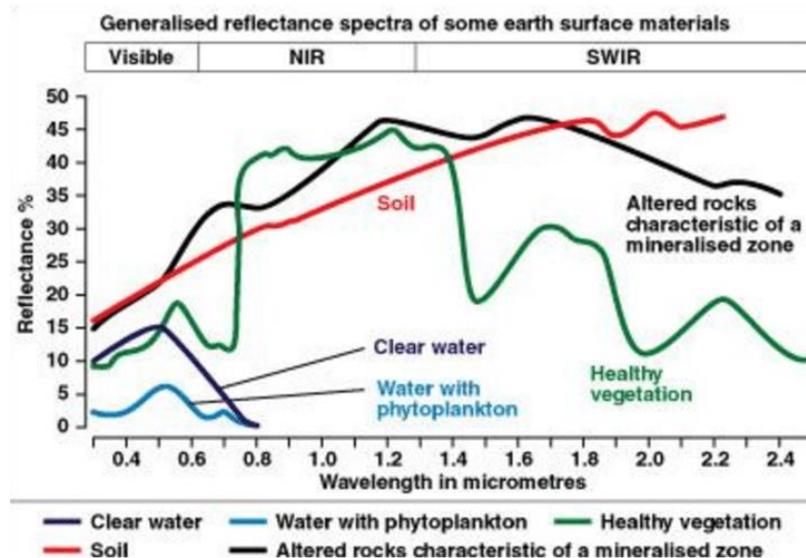
objek yang berbeda-beda maka masing-masing dari objek tersebut akan memberikan pantulan dan pancaran elektromagnetik yang dapat diterima oleh sensor juga berbeda. Suatu objek dapat dideteksi berdasarkan pantulan atau pancaran elektromagnetiknya. Setiap objek atau benda memiliki struktur partikel yang berbeda-beda, baik itu mikroskopis maupun makroskopis, dimana dari perbedaan tersebut akan memengaruhi respon pantulan elektromagnetiknya (Danoedoro, 2012).

Karakteristik spektral disebut juga dengan *spectral signature* mempunyai sifat khusus bagi setiap objek. Objek yang banyak memantulkan gelombang elektromagnetik tampak cerah pada citra, sedangkan objek yang banyak menyerap energi akan tampak lebih gelap pada citra. Radiasi matahari yang mengenai permukaan target, kemungkinan target radiasi tersebut dapat dipantulkan, diserap atau diteruskan. Objek yang berbeda akan memiliki panjang gelombang yang berbeda. Prinsip sebuah objek dapat diidentifikasi berdasarkan pancaran *spectral signature* (Sutanto, 1994).

Aplikasi baru penginderaan jauh multispektral fokus pada estimasi jumlah dan distribusi vegetasi. Estimasi didasarkan pada pantulan dan kanopi vegetasi. Kekuatan pantulan tergantung pada panjang gelombang yang digunakan oleh tiga komponen vegetasi, yaitu daun, substrat, dan bayangan. Aplikasi penginderaan jauh multispektral mangrove meliputi pendugaan jumlah, kerapatan, dan sebaran vegetasi. Perkiraan tersebut didasarkan pada reflektansi kanopi vegetasi. Nilai reflektansi suatu objek akan berbeda dengan nilai reflektansi objek lainnya (Lillesand & Kiefer, 1990).

Objek vegetasi pada panjang gelombang inframerah dekat/*near infrared* (NIR) memiliki nilai reflektansi yang tinggi, sedangkan pada panjang gelombang merah, objek vegetasi memiliki nilai reflektansi yang rendah. Kombinasi kedua kanal tersebut akan menghasilkan data yang sensitif terhadap kehijauan vegetasi (Lillesand & Kiefer, 1990). Selain itu, penginderaan jauh untuk vegetasi mangrove dapat dilakukan dengan dasar bahwa mangrove hanya tumbuh di daerah pesisir. Nilai reflektansi vegetasi akan bernilai rendah pada spektrum biru dan merah, karena terjadi proses penyerapan oleh klorofil. Vegetasi memiliki pantulan yang memuncak

pada spektrum hijau. Bentuk reflektansi spektrum tersebut dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis vegetasi (Purwadhi & Sanjoto, 2008).



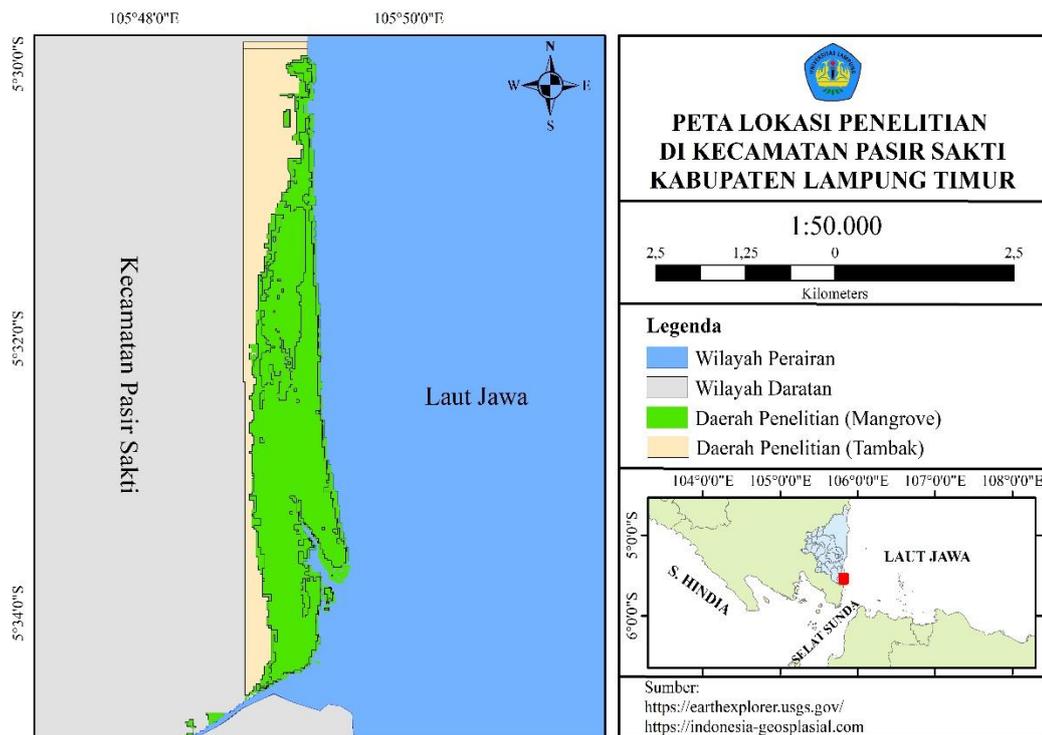
Gambar 2. Kurva reflektansi spektral untuk *vegetation* (tumbuhan), *soil* (tanah), *water* (air)  
Sumber: Sanjaya & Alhasanah (2013).

Reflektansi air jernih umumnya bernilai rendah, namun memiliki pantulan maksimumnya yang terletak pada ujung spektrum biru dan menurun saat panjang gelombang meningkat. Air jernih tampak berwarna gelap kebiruan. Air keruh mengandung beberapa padatan suspensi yang akan meningkatkan pantulan pada akhir spektrum merah, sehingga pantulan spektrum pada air keruh akan berwarna kecoklatan pada citra yang dihasilkan oleh satelit. Reflektansi pada tanah gundul bergantung pada komposisi yang tersusun atas tanah tersebut. Tanah gundul memiliki nilai reflektansi meningkat sesuai dengan peningkatan panjang gelombang, oleh karena itu akan tampak berwarna merah kekuningan. Nilai reflektansi vegetasi akan bernilai rendah pada spektrum biru dan merah, karena terjadi proses penyerapan oleh klorofil. Vegetasi memiliki pantulan yang memuncak pada spektrum hijau. Bentuk reflektansi spektrum tersebut dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis vegetasi (Purwadhi & Sanjoto, 2008).

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian mengenai pendugaan potensi stok karbon dan emisi CO<sub>2</sub> berdasarkan perubahan tutupan lahan dilaksanakan pada Agustus - Oktober 2022. Lokasi penelitian adalah di sekitar kawasan ekosistem mangrove di Kecamatan Pasir Sakti Kabupaten Lampung Timur.



Gambar 3. Peta lokasi penelitian

### 3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian tertera pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Alat yang digunakan dalam penelitian.

No.	Nama Alat dan Bahan	Kegunaan
1	Laptop	Pengolahan data dengan perangkat lunak.
2	Perangkat lunak ( <i>software</i> ) QGIS 3.24.0	<i>Preprocessing</i> citra Landsat.
3	Perangkat lunak ( <i>software</i> ) ArcGIS 10.4.1	Pengolahan data citra.
4	Microsoft Excel	Pengelolaan data hasil perhitungan.
5	Microsoft Word	Penyusunan laporan penelitian.
6	GPS	Survei lapangan (posisi sampling di lapangan).

Tabel 6. Bahan yang digunakan dalam penelitian

No	Bahan	Format	Sumber
1	Citra satelit Landsat 5 untuk tahun 1995, 2000, 2008, dan 2010	Citra	<a href="http://earthexplorer.usgs.gov/">earthexplorer.usgs.gov/</a>
2	Citra satelit Landsat 7 ETM + untuk tahun 2003	Citra	<a href="http://earthexplorer.usgs.gov/">earthexplorer.usgs.gov/</a>
3	Citra satelit Landsat 8 untuk tahun 2013, 2015, 2017, 2019, dan 2020	Citra	<a href="http://earthexplorer.usgs.gov/">earthexplorer.usgs.gov/</a>
4	Citra Landsat 9 untuk tahun 2022	Citra	<a href="http://earthexplorer.usgs.gov/">earthexplorer.usgs.gov/</a>
5	Peta administrasi Kabupaten Lampung Timur	Shapefile	<a href="http://tanahair.indonesia.go.id/">tanahair.indonesia.go.id/</a>
6	Data stok karbon per tipe tutupan lahan	Excel	Direktorat Inventarisasi dan Pemantauan Sumberdaya Hutan, 2015

### 3.3 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode kuantitatif yang diperoleh melalui pendekatan analisis spasial. Metode kuantitatif adalah metode pendekatan ilmiah yang berlandaskan angka dan apapun yang terukur dalam investigasi sistematis dari suatu fenomena untuk mencari hubungan. Tujuan dari penelitian yang menggunakan metode kuantitatif adalah untuk mengembangkan dan menggunakan model-model matematis, teori-teori dan atau hipotesis yang berkaitan dengan fenomena-fenomena yang terjadi di alam (Sugiyono, 2010).

#### 3.3.1 Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian berupa data primer dan data sekunder.

##### a. Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh secara langsung. Data primer pada penelitian terdiri dari data *ground check*, yaitu:

##### 1. *Ground Check*

*Ground check* atau survei lapangan dilakukan dengan cara mendokumentasikan kondisi *eksisting* lahan penelitian. Dokumentasi tersebut digunakan sebagai data pendukung dalam melakukan analisis terhadap kondisi tertentu pada lokasi penelitian.

##### b. Data Sekunder

Data sekunder pada penelitian terdiri dari dua jenis data, yaitu sebagai berikut:

##### 1. Data penginderaan jauh

Data penginderaan jauh yang digunakan pada penelitian adalah data citra satelit Landsat 5 (1995, 2000, 2008, dan 2010), citra satelit Landsat 7 ETM+ (2003), Landsat 8 (2013, 2015, 2017, 2019, dan 2020) serta Landsat 9 (2022). Data citra satelit tersebut diperoleh dari lembaga survei geologi Amerika Serikat /United States Geological Survey (USGS) melalui website (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

2. Data batas administrasi Kabupaten Lampung Timur  
Peta tersebut diperoleh dari lembaga pusat pengelolaan dan penyebarluasan informasi geospasial yaitu Badan Informasi Geospasial (BIG) melalui website (<https://tanahair.indonesia.go.id/>).
3. Data stok karbon per tipe tutupan lahan  
Data stok karbon untuk setiap tutupan lahan diperoleh dari data penelitian Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas) atau Deputi Bidang Sumber Daya Alam dan Lingkungan Hidup yang dipublikasikan melalui Pedoman Teknis Penghitungan Baseline Emisi dan Serapan Gas Rumah Kaca Sektor Berbasis Lahan: Buku I Landasan Ilmiah. Kandungan karbon pada tutupan lahan di luar hutan diperoleh dari sumber data sekunder, seperti jurnal penelitian dan sumber lainnya.

### **3.3.2 Pengolahan Data**

Tahapan pengolahan data untuk penelitian dibagi menjadi dua tahap, yaitu pengolahan data perubahan tutupan lahan dan menghitung perubahan stok karbon dengan menggunakan data perubahan tutupan lahan.

- a. Tahapan Pengolahan Tutupan Lahan
  1. Input peta batas administrasi Kabupaten Lampung Timur  
Peta tersebut digunakan sebagai pedoman batas wilayah yang akan dilakukan penelitian.
  2. Input data citra satelit Landsat  
Data Citra Satelit yang digunakan adalah citra Landsat 9, 8, 7, dan 5. Citra-citra tersebut merupakan data yang diperlukan untuk melihat perubahan penutupan lahan.
  3. Koreksi geometrik  
Koreksi geometrik merupakan proses memposisikan citra sehingga cocok dengan koordinat peta dunia yang sesungguhnya. Posisi geografis citra pada saat pengambilan data dapat menimbulkan distorsi karena perubahan posisi dan juga ketinggian sensor. Distorsi pada akuisisi citra satelit akan bertambah seiring dengan perbedaan waktu pembuatan peta dan akuisisi citra serta kualitas dari peta dasar yang kurang baik. Akibat dari kesalahan

geometrik ini, maka posisi piksel dari citra satelit tersebut tidak sesuai dengan posisi yang sebenarnya (Permata & Rahayu, 2021).

#### 4. Koreksi radiometrik dan atmosferik

Koreksi radiometrik merupakan tahap awal pengolahan data sebelum analisis dilakukan untuk suatu tujuan, misalnya untuk identifikasi liputan lahan pertanian. Proses koreksi radiometrik mencakup koreksi efek-efek yang berhubungan dengan sensor untuk meningkatkan kontras (*enhancement*) setiap piksel (*picture element*) dari citra, sehingga objek yang terekam mudah dianalisis untuk menghasilkan data atau informasi yang benar sesuai dengan keadaan lapangan. Koreksi radiometrik dilakukan untuk memperbaiki beberapa kesalahan yang terjadi pada citra satelit. Kesalahan radiometrik berupa pergeseran nilai atau derajat keabuan elemen gambar (pixel) pada citra agar mendekati harga atau nilai yang seharusnya dan juga memperbaiki kualitas visual citra (Permata & Rahayu, 2021).

Koreksi atmosferik merupakan salah satu algoritma koreksi radiometrik yang relatif baru (Ekadinata *et al.*, 2008). Koreksi tersebut dilakukan dengan mempertimbangkan berbagai parameter atmosfer dalam proses koreksi termasuk faktor musim, dan kondisi iklim dilokasi perekaman citra (misalnya tropis, subtropis, dan lainnya). Kelebihannya ada pada kemampuannya untuk memperbaiki gangguan atmosfer seperti kabut tipis, asap, dan lain-lain.

#### 5. Komposit band

Langkah selanjutnya adalah menggabungkan band dari citra satelit dengan cara komposit band. Untuk mengetahui penutupan lahan menggunakan komposit band (RGB 453) pada citra Landsat 5 dan 7 serta untuk citra Landsat 8 dan 9 dilakukan komposit band (RGB 564). Proses tersebut menggunakan *software* ArcGis (Permata & Rahayu, 2021).

#### 6. Pemotongan citra

*Cropping* (pemotongan citra) dilakukan dengan tujuan untuk memperkecil file, mempercepat proses pengolahan citra, dan melakukan pembatasan

pada daerah yang dilakukan penelitian. Pemotongan citra satelit dilakukan dengan menggunakan *tools extract by mask* yaitu *tool* pada ArcGis (Permata & Rahayu, 2021).

7. Klasifikasi terbimbing (*supervised clasification*)

Metode *supervised clasification* (klasifikasi terbimbing) merupakan metode analisis dengan cara menetapkan beberapa *training* atau *sample area* (daerah contoh) terlebih dahulu, kemudian pada citra bisa terlihat sebagai kelas lahan tertentu. Metode tersebut dilakukan menggunakan referensi penunjang di antaranya observasi lapang maupun data, dengan tujuan keakuratan data ketika proses digitasi (Permata & Rahayu, 2021).

8. Konversi data raster ke vektor

Langkah tersebut untuk mempermudah proses klasifikasi luasan tutupan lahan dan melakukan koreksi atau reklarifikasi apabila terdapat kesalahan pada saat proses klasifikasi (Permata & Rahayu, 2021).

9. Perhitungan indeks NDVI

Perhitungan indeks NDVI dilakukan untuk menentukan tutupan lahan yaitu mangrove primer, mangrove sekunder, dan tambak. Nilai indeks vegetasi ini dihitung sebagai rasio pantulan yang terukur dari band merah (R) dan band inframerah (NIR) pada spektrum gelombang elektromagnetik (Klompaker *et al.*, 2017). Kedua band tersebut dipilih karena hasil pengukurannya yang paling dipengaruhi oleh penyerapan klorofil daun atau vegeasi hijau. Pada Landsat 5 dan 7 band 3 adalah yang berperan sebagai band merah (R), sedangkan band 4 sebagai band inframerah (NIR). Pada Landsat 8 dan 9 band yang berperan sebagai band merah (R) adalah band 4 dan inframerah (NIR) adalah band 5. Persamaan indeks NDVI menurut Ahmed & Akter (2017) adalah sebagai berikut:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

Pengelompokan hasil NDVI untuk membedakan antara hutan mangrove primer, hutan mangrove sekunder, dan tambak adalah dengan melihat nilai

dari hasil NDVI-nya. Pada kategori kerapatan tinggi dikelompokkan ke dalam tutupan lahan hutan mangrove primer, sedangkan kategori kerapatan rendah dan sedang dikelompokkan ke dalam tutupan lahan hutan mangrove sekunder. Klasifikasi kerapatan mangrove berdasarkan nilai NDVI-nya terdapat pada Tabel 7.

Tabel 7. Kelas tingkat kerapatan berdasarkan nilai indeks NDVI

No.	Nilai Indeks Vegetasi (NDVI)	Tingkat Kerapatan
1	-1 – 0,03	Nonvegetasi
2	0,03 - < 0,25	Rendah
3	0,25 - < 0,40	Sedang
4	0,40 - 1	Tinggi

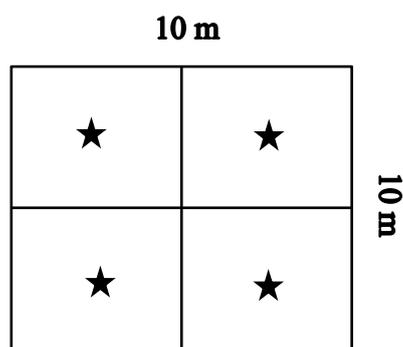
Sumber: Marwoto & Ginting (2009)

#### 10. Uji akurasi

Akurasi dapat diperoleh dari perbandingan antara data hasil klasifikasi dengan data kondisi lapangan. Salah satu cara uji akurasi yaitu dengan melakukan pengecekan data lapangan (*ground check*). *Ground check* adalah proses pengumpulan data di lapangan yang digunakan untuk membandingkan kenampakan obyek yang ada pada citra dengan kondisi yang di lapangan. Proses tersebut dapat dilakukan melalui foto udara, *side scan radar satellite*, atau citra infra merah. *Ground check* dilakukan dengan cara mengumpulkan foto sesuai dengan koordinat obyek (Permata & Rahayu, 2021).

Berdasarkan data tersebut, tutupan lahan atau *land cover* dapat diidentifikasi dan dibandingkan dengan yang ada pada citra. *Ground check* dilakukan pada titik-titik yang dipilih berdasarkan prinsip keraguan terhadap hasil interpretasi yang dianalisis dari aplikasi sebelumnya. Uji akurasi tersebut dilakukan sebagai area sampel untuk setiap bentuk tutupan lahan yang homogen. Pelaksanaan setiap bentuk tutupan lahan dilakukan pada beberapa sampel areal sesuai homogenitas kenampakannya dan diuji kebenarannya (survei lapangan).

Pada penelitian yang telah dilakukan, titik sampling yang diambil dari setiap tutupan lahan adalah 3 titik dimana setiap titik dilakukan 4 kali pengambilan dokumentasi dengan ukuran transek 10 x 10 m<sup>2</sup>, sehingga jumlah total titik sampling adalah 15. Berikut merupakan gambar transek yang digunakan pada *ground check* (Gambar 4).



Gambar 4. Transek penelitian ukuran 10 x 10 m<sup>2</sup>

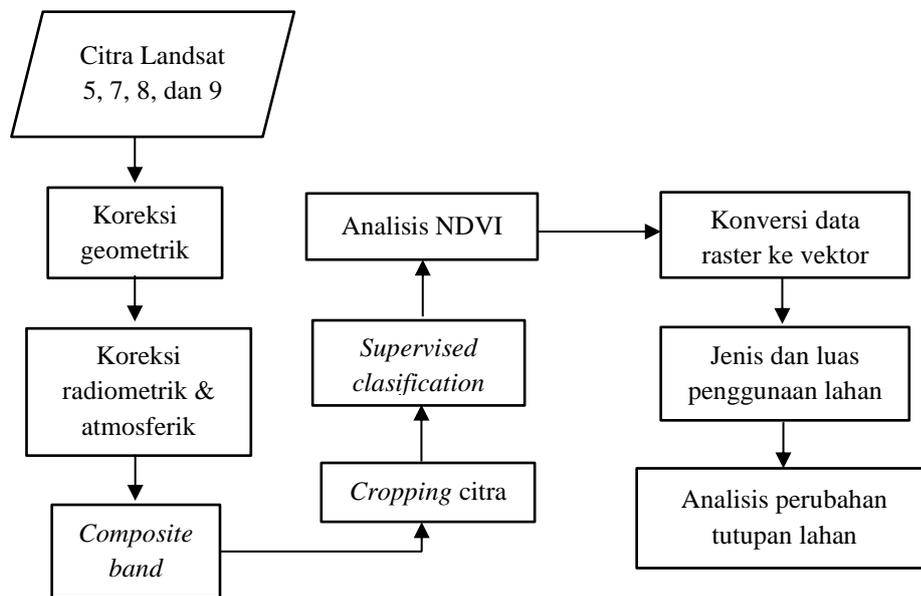
Uji akurasi yang telah dilakukan memiliki target untuk mencapai angka benar minimal 85%. Kebenaran 85% tersebut dapat diilustrasikan yaitu ketika jumlah seluruh titik yang akan diobservasi sebanyak 15 titik, maka hasil yang didapatkan harus terdapat 13 titik yang sesuai. Hasil akhir dari uji akurasi didapatkan dari hasil perhitungan yang menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Tingkat Kebenaran Interpretasi} = \frac{\sum \text{Titik yang sesuai}}{\sum \text{Titik yang diobservasi}} \times 100\%$$

#### 11. Analisis perubahan tutupan lahan

Langkah selanjutnya yaitu dilakukan analisis untuk menghitung luasan perubahan tutupan lahan di sekitar kawasan mangrove dari tahun 1995-2022. Perhitungan luasan tutupan lahan dilakukan dengan cara tumpang susun (*overlay*), kemudian dilakukan analisis dengan Microsoft Excel. Penutupan lahan dan perubahannya terlampir dalam bentuk grafik dan peta perubahan penutupan lahan (Permata & Rahayu, 2021).

Proses pengolahan data perubahan tutupan lahan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengolahan data perubahan tutupan lahan  
Sumber: Permata & Rahayu (2021)

#### b. Pengolahan Stok Karbon

##### 1. Input data

Pengolahan data stok karbon dilakukan dengan menginput data peta penutupan lahan tahun 1995-2022 dan data stok karbon.

##### 2. *Overlay*

Tumpang susun (*overlay*) merupakan metode untuk menyatukan dari tutupan lahan tahun 1995-2022 yang berfungsi untuk melihat perbedaan perubahan penutupan lahan wilayah mangrove Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur.

##### 3. *Join* (penggabungan)

*Join* merupakan proses penggabungan layer tutupan lahan dan tabel data stok karbon tiap kelas berbeda menjadi satu layer.

##### 4. Perhitungan stok karbon

Penghitungan stok karbon dilakukan dengan menghitung luas setiap tipe penutupan lahan dikalikan dengan angka stok karbonnya.

### 3.3.3 Analisis Data

Metode perhitungan yang digunakan dalam penelitian adalah penghitungan stok dan emisi karbon yang dilakukan dengan menggunakan cara analisis spasial data aktivitas dan data stok karbon atau faktor emisi untuk tiap tipe penutupan lahan.

#### a. Penghitungan stok karbon

Perhitungan stok karbon dilakukan dengan mengalikan luas setiap tipe tutupan lahan pada wilayah mangrove Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur pada tahun 1995-2022 dengan angka stok karbon per hektar (Tabel 8), kemudian tertera dalam bentuk grafik (Tosiani, 2015). Perhitungan stok karbon dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$S_{kt} = L \times S_{tl}$$

Keterangan:  $S_{kt}$  = Stok karbon total (ton C)  
 $L$  = Luas tutupan lahan  
 $S_{tl}$  = Stok karbon per tipe tutupan lahan

Tabel 8. Nilai stok karbon tiap tutupan lahan

Penutupan Lahan	Stok Karbon (ton C/ha)
Hutan mangrove primer	170
Hutan mangrove sekunder	120
Hutan lahan kering primer	112,377
Hutan lahan kering sekunder	84,788
Hutan rawa primer	84,036
Hutan rawa sekunder	68,479
Perkebunan	63
Semak belukar	30
Semak belukar rawa	30
Pertanian lahan kering bercampur semak	30
Pertanian lahan kering	10
Transmigrasi	10
Permukiman	5
Savana	4,5
Tambak	0

Sumber: Agus *et al.* (2013)

b. Penghitungan serapan dan emisi karbon

Metode penghitungan emisi dan serapan karbon dihitung dengan menggunakan data penutupan lahan wilayah Kecamatan Pasir Sakti tahun 1995-2022 yang telah ditumpang-susunkan (*overlay*), kemudian perubahannya disajikan dalam bentuk matriks perubahan penutupan lahan berdasarkan kelas penutupan lahan.

1) Penghitungan serapan karbon

Penghitungan serapan karbon dilakukan dengan menggunakan metode perkalian antara luas kelas penutupan lahan yang mengalami perubahan dari penutupan lahan yang memiliki kandungan karbon per hektar yang rendah menjadi penutupan lahan yang memiliki kandungan karbon per hektar yang lebih tinggi dengan kandungan karbon per hektarnya (Tosiani, 2015).

$$S_k = L \times S_{tl}$$

Keterangan:  $S_k$  = Serapan karbon (ton CO)  
 $L$  = Luas tutupan lahan  
 $S_{tl}$  = Stok karbon per tipe tutupan lahan

2) Penghitungan potensi emisi karbon

Penghitungan potensi emisi karbon dilakukan dengan menggunakan metode perkalian antara luas kelas penutupan lahan yang mengalami perubahan dari penutupan lahan yang memiliki kandungan karbon per hektar yang tinggi menjadi penutupan lahan yang memiliki kandungan karbon per hektar yang lebih rendah (lahan mangrove yang mengalami degradasi atau deforestasi) dengan konstanta (3,667). Berdasarkan Mardiyadi *et al.* (2015) perhitungan potensi emisi dapat dilakukan dengan persamaan berikut:

$$\text{Potensi emisi CO}_2 = \frac{\text{Luas tutupan lahan}}{\text{lahan}} \times \frac{\text{Stok karbon per tipe tutupan lahan}}{\text{tutupan lahan}} \times 3,667$$

Konstanta 3,667 diperoleh dengan mengkonversi karbon (C) ke CO<sub>2</sub> (massa atom C = 12 dan O = 16, maka CO<sub>2</sub> = (1x12) + (2x16) = 44: kemudian dikonversi yaitu CO<sub>2</sub>/C = 44/12 = 3.667).

c. Perhitungan nilai ekonomi

Total nilai ekonomi karbon dihasilkan dari nilai total potensi emisi CO<sub>2</sub> pada kawasan mangrove Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur. Nilai ekonomi hutan mangrove dapat dihitung berdasarkan PermenHut No. 36 Tahun 2009. Persamaan penghitungan nilai ekonomi karbon tertera pada Tabel 9.

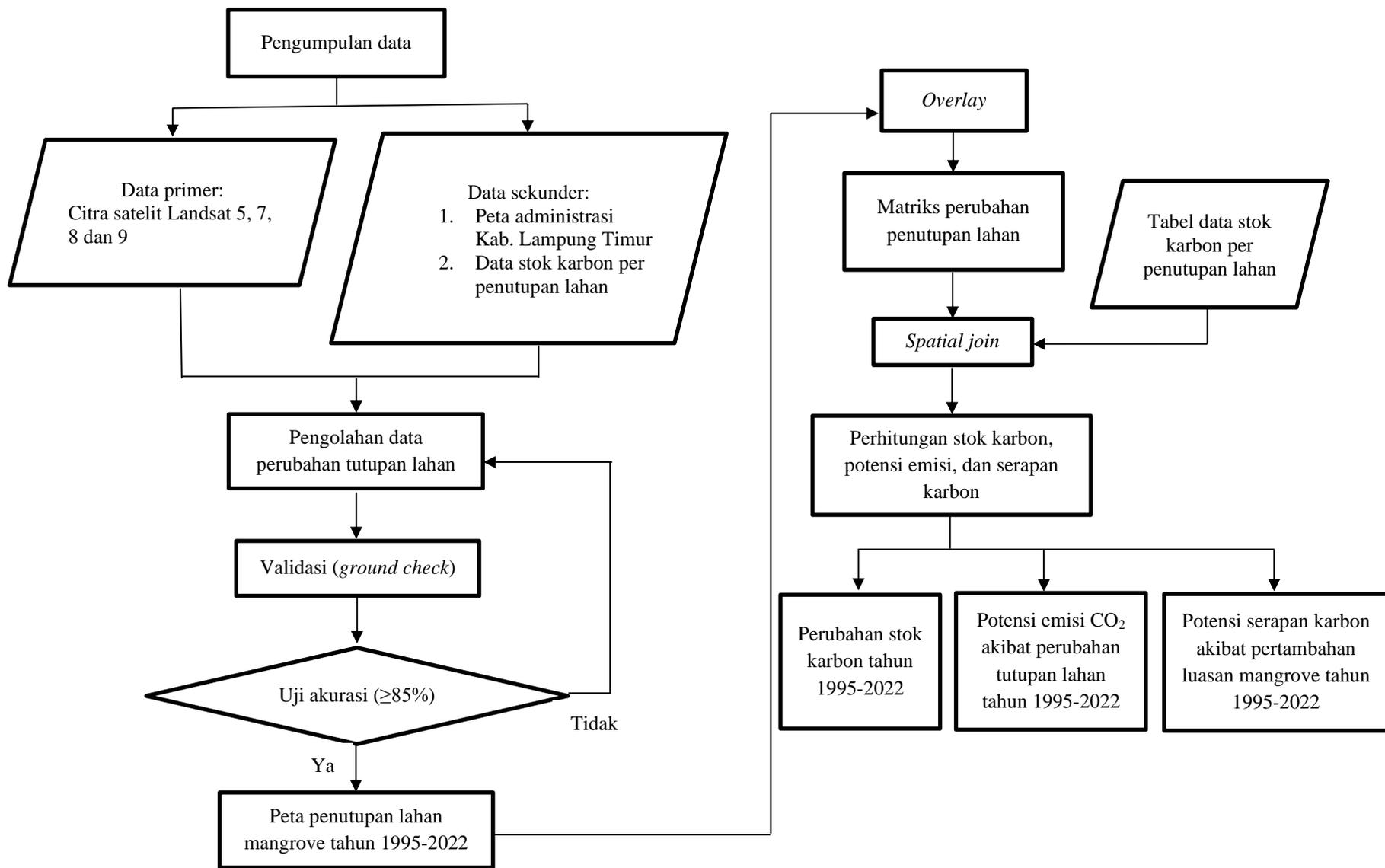
Table 9. Nilai ekonomi karbon

Nilai Ekonomi		
<i>Standard Carbonfix</i>	Sistem dan Standar Plan Vivo	<i>Voluntary Carbon Standar (AFOLU)</i>
10-20 Euro (14-27 US\$)	8-30 US\$	12-18 US\$

Sumber: PermenHut RI No. P.36/Menhut-II (2009)

Perhitungan nilai ekonomi dapat dilakukan dengan persamaan Mardiyadi *et al.* (2015) sebagai berikut.

$$\text{Nilai ekonomi/ha} = \text{Emisi CO}_2 \text{ (ton CO}_2\text{)} \times \text{Harga}$$



Gambar 6. Diagram alir penelitian

## **V. PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada periode tahun 1995-2022 terjadi peningkatan luasan kawasan mangrove di Kecamatan Pasir Sakti yang sangat signifikan karena adanya perubahan mangrove sekunder menjadi mangrove primer dan konversi lahan tambak menjadi kawasan mangrove.
2. Emisi CO<sub>2</sub> di kawasan hutan mangrove Kecamatan Pasir Sakti pada periode 1995-2022 cenderung meningkat saat terjadinya degradasi, dan cenderung menurun dengan laju yang sangat kecil saat terjadinya deforestasi.
3. Peningkatan luasan hutan mangrove di Kecamatan Pasir Sakti periode 1995-2022 menyebabkan terjadinya peningkatan stok karbon dan penurunan potensi emisi CO<sub>2</sub>.

### **5.2 Saran**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, disarankan agar masyarakat dan pemerintah menjaga kawasan hutan mangrove agar tetap lestari, sehingga tidak terjadi kerusakan dan fungsi mangrove sebagai penyerap karbon dalam mengatasi perubahan iklim tidak terganggu, serta melakukan penanaman untuk memperbaiki mangrove yang telah rusak terutama yang disebabkan oleh hama tanaman.

## **DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdulhadi, R. & Suhardjono. 1994. The remnant mangroves of Sei Kecil, Sim-pang Hilir, West Kalimantan, Indonesia. *Hydrobiologi*. 285:249-255.
- Adame, M. F., Kauffman, J. B., Medina, I., Gamboa, J. N., Torres, O., Caamal, J. P., & Herrera, S. J. A. 2013. Carbon stocks of tropical coastal wetlands within the karstic landscape of the Mexican Caribbean. *PLoS ONE*. 8(2):e 56569.
- Agus, F., Santosa, I., Dewi, S., Setyanto, P., Thamrin, S., Wulan, Y. C., & Sur-yaningrum, F. 2013. *Pedoman Teknis Penghitungan Baseline Emisi dan Serapan Gas Rumah Kaca Sektor Berbasis Lahan: Buku I Landasan Il-miah*. Badan Perencanaan Pembangunan Nasional, Republik Indonesia. Jakarta. 120 hlm.
- Ahmed, K. R., & Akter, S. 2017. Analysis of landcover change in Southwest Be-ngal Delta due to floods by NDVI, NDWI and K-means cluster with Land-sat multispectral surface reflectance satellite data. *Remote Sensing Appli-cations: Society and Environment*. 8:168-181.
- Al Hazmi, I. B., Mulyanto., dan Arfiati, D. 2017. Penyerapan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) pada daun, serasah daun, dan sedimen mangrove *Sonneratia caseo-laris* (l) engler kategori tiang di kawasan Mangrove Tlocor, Kabupaten Sidoarjo. [Prosiding] *Seminar nasional Kelautan dan Perikanan III 2017 Universitas Trunojoyo Madura*. 3:33–39.
- Amanda, Y., Mulyadi, A., & Siregar, Y. I. 2021. Estimasi stok karbon tersimpan pada hutan mangrove di muara Sungai Batang Apar Kecamatan Pariaman Utara Kota Pariaman Provinsi Sumatera Barat. *Jurnal Ilmu Perairan (Aquatic Science)*. 9(1):38-48.
- Apss, M., Artaxo, P., Barret, D., Canadell, J., Cescatti, A., Churkina, G., Ciais, P., Cienciala, E., Cox, P., Field, C., Heimann, M., Holland, E., Houghton, R., Jaramillo, V., Joos, F., Kanninen, M., Kauffman, J. B., Kurz, W., Lasco, R. D., Law, B., Malhi, Y., McMurtrie, R., Morikawa, Y., Murdiyarso, D., Nilsson, S., Ogana, W., Peylin, P., Sala, O., Schimel, D., Smith, P., Zhou, G., & Zimov, S . 2003. *Science statement on current scientific understand-ing of the processes affecting terrestrial carbon stocks and human influ-*

- ences upon them*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva. 37 hlm.
- Ardiansyah, F., Safe'i, R., Hilmanto, R., & Indriyanto. 2019. Analisis kerusakan pohon mangrove menggunakan teknik forest health monitoring (FHM). *[Prosiding] Seminar Nasional Bidang Ilmu-ilmu Pertanian BKS-PTN Bagian Barat*. Fakultas Pertanian Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Serang. 17 hlm.
- Arhatin. 2010. *Modul Pelatihan Pembangunan Indeks Kerentanan Pantai*. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 26 hlm.
- Arizona, S. M., & Tandjung. 2009. Kerusakan ekosistem mangrove akibat konversi lahan di Kampung Tobati dan Kampung Nafri, Jayapura. *Jurnal Geografi Indonesia*. 23(3):18-39.
- Astriyantika, M. 2021. Pengembangan aspek kepelembagaan ekowisata mangrove Kelompok Tani Hutan Mutiara Hijau 1 Pasir Sakti, Lampung Timur. *Seminar Nasional dalam Rangka Dies Natalis ke-45 UNS Tahun 2021*. 5(1):1309-1317.
- As-syakur, A. R., & Adnyana, I., W., S. 2009. Analisis indeks vegetasi menggunakan Citra Alos atau Avnir-2 dan sistem informasi geografi (SIG) untuk evaluasi tata ruang Kota Denpasar. *Jurnal Bumi Lestari*. 9(1):1-11.
- Bengen, D. G & Adrianto, L. 1998. *Strategi Pemberdayaan Masyarakat dalam Pelestarian Mangrove*. Makalah Lokakarya Jaringan Kerja Pelestarian Mangrove, Pemalang, Jawa Tengah. Institut Pertanian Stiper Yogyakarta. Yogyakarta.
- Balai Penyuluhan Pertanian, Perikanan dan Kehutanan Pasir Sakti. 2014. *Program Penyuluhan Tahun 2014*. Sukadana. 54 hlm.
- Cames, M., Harthan, R. O., Fussler, J., Lazarus, M., Lee C. M., Erickson, P., & Spalding-Fetcher, R. 2016. *How Additional is the Clean Development Mechanism*. Oeko Institute. Berlin. 173 hlm.
- Chanan, M. 2012. Pendugaan cadangan karbon (C) tersimpan di atas permukaan tanah pada vegetasi hutan tanaman jati (*Tectona grandis Linn.F*) (Di RPH Sengguruh BKPH Sengguruh KPH Malang Perum Perhutani II Jawa Timur). *Jurnal Gamma*. 7(2): 61-73.
- Chanlett, E.T. 1979. *Environmental Protection (McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering)*. McGraw-Hill Book Company Inc. New York. 608 hlm.
- Colgan, M. S., Asner, G. P., & Swemmer, T. 2013. Harvesting tree biomass at the stand-level to assess the accuracy of field and airborne biomass estimation in savannas. *Ecological Applications*. 23(5):1170-1184.

- Dahuri, R. 2003. *Keanekaragaman Hayati Laut: Aset Pembangunan Berkelanjutan Indonesia*. PT. Gramedia. Jakarta. 412 hlm.
- Danoedoro, P. 2012. *Pengantar Penginderaan Jauh Digital*. ANDI. Yogyakarta. 44 hlm.
- Davis, C., & Natarina. 1995. *Sains dan Teknologi 2: Berbagai Ide untuk Menjawab Tantangan dan Kebutuhan oleh Ristek Tahun 2009*. Gramedia. Jakarta. 500 hlm.
- Departemen Kelautan dan Perikanan. 2008. *Pedoman Pengelolaan Ekosistem Mangrove 4th ed*. Departemen Kelautan dan Perikanan. Jakarta. 123 hlm.
- Dharmawan, I. W., & Siregar, C. H. 2008. Karbon tanah dan pendugaan karbon tegakan *Avicennia marina* (Forsk) vierh di Ciasem, Purwakarta. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*. 5(4):317-328.
- Direktorat Inventarisasi dan Pemantauan Sumber Daya Hutan. 2015. *Buku Kegiatan Serapan dan Emisi Karbon*. Direktorat Jenderal Planologi Kehutanan dan Tata Lingkungan, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Jakarta. 45 hlm.
- Ekadinata, A., Dewi, S., Hadi, D. P. 2008. *Sistem Informasi Geografis dan Penginderaan Jauh Menggunakan ILWIS Open Source*. World Agroforestry Centre. Bogor. 70 hlm.
- Finn, M. P., Reed, M. D., & Yamamoto, K. H. 2012. *A Straight Forward Guide for Processing Radiance and Reflectance for EO-1 ALI, Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, and ASTER*. Center of Excellence for Geospatial Information Science. USA. 8 hlm.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2001. *Global Forest Resources Assessment 2000*. Food and Agriculture Organization. Rome. 479 hlm.
- Hairiah, K., & Rahayu, S. 2007. *Pengukuran 'Karbon Tersimpan' di Berbagai Macam Penggunaan Lahan*. World Agroforestry Centre - ICRAF, SEA Regional Office, University of Brawijaya. Indonesia. 77 hlm.
- Hamuna, B., Sari, A.N., & Megawati, R. 2018. Kondisi hutan mangrove di kawasan Taman Wisata Alam Teluk Youtefa, Kota Jayapura. *Majalah Ilmiah Biologi Biosfera: A Scientific Journal*. 35(2):75–83.
- Hardjowigeno, S., & Widiatmaka. 2011. *Evaluasi Kesesuaian Lahan dan Perencanaan Tata Guna Lahan*. Edisi kedua. UGM Press. Yogyakarta. 351 hlm.
- Haryadi, B. 2007. Perhitungan erosi kuantitatif metode MMF dengan PJ dan SIG di DAS Benain Noelmina. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*. 7(2):127-132.

- Herlina, N., Rizali, A., Moerfiah, Sahari, B., & Buchori, D. 2011. Pengaruh habitat sekitar lahan persawahan dan umur tanaman padi. *Indonesian Journal of Entomology*. 8(1):17-26.
- Hidayah, Z., & Suharyo, O. S. 2018. Analisa perubahan penggunaan lahan wilayah pesisir Selat Madura. *Jurnal Ilmiah Rekayasa*. 11(1):19-30.
- Hualong, L., Yongqiang, L., Xuegang, H., Tingting, L., & Yuri, L. 2014. Effects of land use transitions due to rapid urbanization on ecosystem services: Implications for urban planning in the new developing area of China. *Habitat International*. 44:536-544.
- Irsadi, A., Martuti, N. K. T., & Nugraha, S. B. 2017. Estimasi stok karbon mangrove di Dukuh Tapak Kelurahan Tugurejo Kota Semarang. *Jurnal Sains dan Teknologi*. 15(2):119-127.
- Irwhantoko, I., & Basuki, B. 2016. Carbon emission disclosure: Studi pada perusahaan manufaktur Indonesia. *Jurnal Akuntansi dan Keuangan*. 18(2):92-104.
- Jiang, Z., Huete, A. R., Didan, K., & Miura, T. 2008. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. *Remote Sensing of Environment*. 112(10):3833-3845.
- Kareninsekar, C., & Insafitri. 2020. Stok dan serapan karbon pada jenis mangrove yang berbeda (*Rhizophora stylosa*, *Avicennia marina* dan *Bruguiera gymnorhiza*) di Perairan Tuban. *Jurnal Ilmiah Kelautan dan Perikanan (Juvenil)*. 1(2):220-226.
- Kauffman, J. B., & Donato, D. C. 2012. *Protocols For the Measurement, Monitoring and Reporting of Structure, Biomass and Carbon Stocks in Mangrove Forests*. Center for International Forestry Research. Bogor. 50 hlm.
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup. 2004. *Kriteria Baku dan Pedoman Penentuan Kerusakan Mangrove*. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 201 Tahun 2004. Jakarta. 10 hlm.
- Klompaker, J. O., Hoek, G., Bloemsma, L. D., Gehring, U., Strak, M., Wijga, A. H., & Janssen, N. A. 2017. Green space definition affects associations of green space with overweight and physical activity. *Environmental Research*. 160:531- 540.
- Kohl, M., Magnussen, S., & Marchetti, M. 2006. *Sampling Methods, Remote Sensing and GIS Multiresource Forest Inventory*. Springe. Verlag Berlin Heidelberg New York. 17 hlm.
- Kusmana, C., Wilarso, S., Hilman, I., Pamoengkas, P., Wibowo, C., Tiryana, T., Triswanto, A., Yunasfi, & Hamzah. 2003. *Teknik Rehabilitasi Mangrove*. Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor. Bogor. 181 hlm.

- Kusuma, A. H., Effendi, E., Hidayatullah, M. S., & Susanti, O. 2022. Estimasi serapan karbon pada vegetasi mangrove register 15, Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten Lampung Timur, Provinsi Lampung. *Journal of Marine Research*. 11(4):768-778.
- Lillesand, T. M., & Kiefer, R. W. 1990. *Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra*. Diterjemahkan oleh Dulbahri *et al.* Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. 725 hlm.
- Mardiyadi, Z., Kresy, K., & Destri. 2019. Stok karbon pada hutan rawa berdasarkan fungsi kawasan hutan di Provinsi Papua Barat. *VOGELKOP: Jurnal Biologi*. 2(1):11-20.
- Marwoto & Ginting, R. 2009. Penyusunan data dan karakteristik daerah tangkapan air Danau Sentani, Kabupaten Jayapura serta perubahan penutupan lahannya menggunakan data penginderaan jauh. *Berita Inderaja*. 1(8):57-65.
- Muhdin., Suhendang, E., Wahjono, D., Purnomo, H., Istomo., & Simangunsong, B. C. H. 2009. Pendugaan dinamika struktur tegakan hutan alam bekas tebangan. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*. 17(1):1-9.
- Muslikah, N., & Eriza. A. O. 2010. Masyarakat peduli pelestarian hutan mangrove di Desa Purworejo Pasir Sakti Lampung Timur. *Wahana Berita Mangrove Indonesia*. Balai Pengelolaan Hutan Mangrove II. Medan. 3 hlm.
- Nuhamara, S. T., & Kasno. 2001. *Present status of crown indicators: Forest Health Monitoring to Monitor the Sustainability of Indonesian Tropical Rain Forest*. Seameo-Biotrop. Bogor. 187 hlm.
- Nugraha, F. W., Pribadi, R., & Wirasatriya, A. 2020. Kajian perubahan luasan untuk prediksi simpanan karbon ekosistem mangrove di Desa Kaliwlingi, Kabupaten Brebes. *Buletin Oseanografi Marina*. 9(2):104-116.
- Nurmalasari, I., & Santosa, S. H. M. B. 2016. Pemanfaatan citra Sentinel-2a untuk estimasi produksi pucuk teh di sebagian Kabupaten Karanganyar. *Jurnal Bumi Indonesia*. 4(4):1-11.
- Oldeman, L. R. 1992. *Global Extent of Soil Degradation in Bi-Annual Report 1991-1992*. International Soil Reference and Information Centre. Wageningen. 18 hlm.
- Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia. 2009. *Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia No. P.30/Menhut-II/2009 tentang Tata Cara Pengurangan Emisi dari Deforestasi dan Degradasi Hutan (REDD)*. Peraturan Pemerintah. Jakarta. 20 hlm.
- Peraturan Pemerintah. 1999. *Peraturan Pemerintah (PP) No. 41 tentang Pengendalian Pencemaran Udara*. Jakarta. 15 hlm.

- Permata, I., & Rahayu, S. 2021. Estimasi cadangan karbon akibat perubahan tutupan lahan di Kabupaten Kendal. *Teknik PWK (Perencanaan Wilayah Kota)*. 10(3):220-230.
- Purnobasuki, H. 2012. Pemanfaatan hutan mangrove sebagai penyimpan karbon. *Buletin Pusat Studi Lingkungan Universitas Surabaya*. 28:3-5.
- Purwadhi, S. H., & Sanjoto T. B. 2008. *Pengantar Interpretasi Citra Penginderaan Jauh*. Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional. Jakarta. 101 hlm.
- Rahim, S., & Baderan, D. W. K. 2017. *Hutan Mangrove dan Pemanfaatannya*. Deepublish. Yogyakarta. 78 hlm.
- Rizaldi, B. M. 2021. Analisis perubahan stock karbon berdasarkan perubahan penutupan lahan dari tahun 1990 – tahun 2020 di wilayah pesisir Kabupaten Lamongan, Provinsi Jawa Timur. *[Prosiding] Forum Ilmiah Tahunan (FIT)-Ikatan Surveyor Indonesia (ISI)*. Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Semarang. 8 hlm.
- Safe'i, R., & Tsani, K. M. 2016. *Kesehatan Hutan: Penilaian Kesehatan Hutan Menggunakan Teknik Forest Health Monitoring*. Plantaxia. Yogyakarta. 102 hlm.
- Safe'i, R., Sari, R. N., & Iswandaru, D. 2019. Biodiversitas fauna sebagai salah satu indikator kesehatan hutan mangrove. *Jurnal Perennial*. 15(2):62-66.
- Sagala, A. 2012. *Draft Petunjuk Teknis Perhitungan Emisi GRK pada Sektor Industri*. Kepala Badan Pengkajian Kebijakan Iklim dan Mutu Industri. Jakarta. 55 hlm.
- Salisbury, F.B., & Ross C. W. 1995. *Fisiologi Tumbuhan*. Jilid 1 Terjemahan Diah R. Lukman dan Sumaryo. Institut Teknologi Bandung. Bandung. 241 hlm.
- Sanjaya, H., & Alhasanah, F. 2013. *Perekaman Spektral Daun Tanaman Padi Terakibat Organisme Pengganggu Tumbuhan Wereng Batang Coklat (WBC)*. Pusat Penginderaan Jauh. Institut Teknologi Bandung. Bandung. 21 hlm.
- Sarno, S. R. A., Ulqodry, T. Z., Munandar., Halimi, E. S., Miyakawa, H., & Tatang. 2011. Degradasi dan pertumbuhan mangrove pada lahan bekas tambak di Solok Buntu Taman Nasional Sembilang Sumatera Selatan. *[Prosiding] Semirata Bidang Ilmu-Ilmu Pertanian Badan Kerja Sama Perguruan Tinggi Negeri Wilayah Barat*. 5 hlm.
- Senoaji, G., & Hidayat, M. F. 2016. Peranan ekosistem mangrove di pesisir Kota Bengkulu dalam mitigasi pemanasan global melalui penyimpanan karbon. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*. 23(3):327-333.

- Setiawan, G., Syaufina, L., & Puspaningsih, N. 2016. Pendugaan hilangnya cadangan karbon dari perubahan penggunaan lahan di Kabupaten Bogor. *Jurnal Silvikultur Tropika*. 7(2):79-85.
- Sunderlin, W. D., & Resosudarmo, I. A. P. 1997. Laju dan penyebab deforestasi di Indonesia: penelaahan kerancuan dan penyelesaiannya. *Occasional Paper*. 9(1): 1-22.
- Sugiyono. 2010. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Alfabeta. Bandung. 334 hlm.
- Sukmawati, T., Fitrihidajati, H., & Indah, N. K. 2007. Penyerapan karbon dioksida pada tanaman hutan kota di Surabaya. *Lentera Bio*. 4(1):108-111.
- Sumargo, W., Nanggara, S. G., Nainggolan, F. A., & Apriani, I. 2011. *Potret Keadaan Hutan Indonesia Periode Tahun 2000-2009*. Edisi pertama. Forest Watch Indonesia. Bogor. 68 hlm.
- Sunardy, Y., Qurniati, R., & Kaskoyo, H. 2021. Nilai manfaat langsung hutan mangrove desa purworejo kabupaten lampung timur. [Prosiding] *Seminar Nasional Fakultas Kehutanan dan Ilmu Lingkungan (FHIL) dan Komunitas Manajemen Hutan Indonesia VI: Relaksasi Pengelolaan Hutan Indonesia Pasca Undang-Undang Cipta Kerja Kendari, 29–30 Juni 2021*. Kendari. 53 hlm.
- Sutanto. 1994. *Penginderaan Jauh Jilid II*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta. 381 hlm.
- Sutaryo, D. 2009. *Penghitungan Biomassa (Sebuah Pengantar untuk Studi Karbon dan Perdagangan Karbon)*. Wetlands International Indonesia Programme. Bogor. 48 hlm.
- Tosiani, A. 2015. *Buku Kegiatan Serapan dan Emisi Karbon*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Direktorat Jenderal Planologi Kehutanan dan Tata Lingkungan, Direktorat Inventarisasi dan Pemantauan Sumberdaya Hutan. Jakarta. 55 hlm.
- Udianto, M. 2017. *Penilaian Ekonomi Hutan Mangrove Muara Sekampung (Register 15) Sebagai Sumberdaya Pesisir Kecamatan Pasir Sakti Kabupaten Lampung Timur*. [Tesis] Program Pascasarjana Magister Manajemen Sumberdaya Alam Universitas Lampung. Bandar Lampung. 90 hlm.
- United Nations Framework Convention on Climate Change. 1998. *Kyoto Protocol to The United Nations Framework Convention on Climate Change*. United Nation. New York. 21 hlm.
- Wibowo, A., Samsuodin, I., Nurtjahjawilasa., Subarudi., & Muttaqin, Z. 2013. *Petunjuk Praktis Menghitung Cadangan Karbon Hutan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim dan Kebijakan. Bogor. 36 hlm.

- Wiryawan, B., Marsden, B., Susanto, H. A., Mahi, A. K., Ahmad, M., & Poespitasari, H. 1999. *Atlas Sumberdaya Wilayah Pesisir Lampung*. Pemerintah Daerah Provinsi Lampung. Lampung. 116 hlm.
- World Bank. 1990. *Indonesia: Sustainable Development of Forests, Land and Water*. The World Bank. Washington DC. 190 hlm.
- Yuliasamaya, Darmawan, A., & Hilmanto, R. 2014. Perubahan tutupan hutan mangrove di Pesisir Kabupaten Lampung Timur. *Jurnal Sylva Lestari*. 2(3):111-124.