

**DINAMIKA STOK KARBON DAN EMISI CO₂ DI ATAS PERMUKAAN
TANAH (*ABOVE GROUND BIOMASS*) BERDASARKAN PERUBAHAN
TUTUPAN LAHAN WILAYAH PESISIR KECAMATAN TELUK
PANDAN DAN PADANG CERMIN KABUPATEN PESAWARAN
PROVINSI LAMPUNG**

SKRIPSI

Oleh

**FADILLAH ASMAULFAH
NPM 2014221011**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**DINAMIKA STOK KARBON DAN EMISI CO₂ DI ATAS PERMUKAAN
TANAH (*ABOVE GROUND BIOMASS*) BERDASARKAN PERUBAHAN
TUTUPAN LAHAN WILAYAH PESISIR KECAMATAN TELUK
PANDAN DAN PADANG CERMIN KABUPATEN PESAWARAN
PROVINSI LAMPUNG**

Oleh

FADILLAH ASMAULFAH

Skripsi

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

Pada

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



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDARLAMPUNG
2025**

ABSTRAK

DINAMIKA STOK KARBON DAN EMISI CO₂ DI ATAS PERMUKAAN TANAH (*ABOVE GROUND BIOMASS*) BERDASARKAN PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN WILAYAH PESISIR KECAMATAN TELUK PANDAN DAN PADANG CERMIN KABUPATEN PESAWARAN PROVINSI LAMPUNG

Oleh

FADILLAH ASMAULFAH

Perubahan tutupan lahan menjadi salah satu kontributor utama emisi gas rumah kaca secara global. Aktivitas tersebut melepaskan sejumlah karbon yang tersimpan didalam vegetasi dan tanah ke atmosfer sehingga menyebabkan penurunan stok karbon dan peningkatan emisi karbon dioksida (CO₂), yang berdampak pada perubahan iklim. Penelitian tersebut bertujuan untuk menganalisis perubahan tutupan lahan, menganalisis stok karbon di atas permukaan tanah (*above ground biomass*) dan mengestimasi emisi CO₂ berdasarkan perubahan lahan wilayah pesisir Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung, dari tahun 2003 hingga 2024. Penelitian tersebut menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan pendekatan penginderaan jauh berbasis citra satelit *Landsat* dan analisis spasial menggunakan software ArcGIS dan QGIS. Berdasarkan hasil analisis spasial, perubahan tutupan lahan terlihat cukup signifikan di wilayah pesisir Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin. Perubahan tutupan lahan ditandai dengan konversi menjadi lahan tambak, permukiman, dan sawah. Perubahan tersebut terjadi pada area yang sebelumnya merupakan ekosistem alami seperti hutan mangrove dan pertanian lahan kering bercampur semak. Perubahan tutupan lahan tersebut mengakibatkan terjadinya penurunan stok karbon dari 331.773 ton C pada tahun 2003 menjadi 290.073 ton C pada tahun 2024 (penurunan 12,5%) dan juga menyebabkan emisi sebesar 169.188,52 ton CO₂.

Kata Kunci: Emisi CO₂, Kecamatan Teluk Pandan, Penginderaan Jauh, Stok Karbon, Tutupan Lahan.

ABSTRACT

DYNAMICS OF CARBON STOCK AND CO₂ EMISSIONS IN ABOVE-GROUND BIOMASS BASED ON LAND COVER CHANGES IN TELUK PANDAN AND PADANG CERMIN DISTRICTS, PESAWARAN REGENCY, LAMPUNG PROVINCE

By

FADILLAH ASMAULFAH

Land cover change is one of the main contributors to global greenhouse gas emissions. This activity releases carbon stored in vegetation and soil into the atmosphere, leading to a decrease in carbon stock and an increase in carbon dioxide (CO₂) emissions, which contribute to climate change. This study was aimed to analyze land cover change, assess above-ground carbon stock, and estimate CO₂ emissions based on land cover changes in the coastal areas of Teluk Pandan and Padang Cermin Subdistricts, Pesawaran Regency, Lampung Province, from 2003 to 2024. A quantitative descriptive method was applied using a remote sensing approach based on Landsat satellite imagery and spatial analysis conducted with ArcGIS and QGIS software. Based on the spatial analysis, land cover change was found to be quite significant in the coastal areas of Teluk Pandan and Padang Cermin. The changes were characterized by the conversion of natural land cover into ponds, settlements, and rice fields. These conversions occurred in areas that were previously natural ecosystems, such as mangrove forests and dryland agriculture mixed with shrubs. The land cover changes resulted in a decrease in carbon stock from 331,773 tons C in 2003 to 290,073 tons C in 2024 (a 12.5% reduction) and caused CO₂ emissions amounting to 169,188.52 tons.

Keywords: CO₂ Emissions, Carbon Stock, Teluk Pandan District, Land Cover, Remote Sensing.

Judul skripsi

**: DINAMIKA STOK KARBON DAN EMISI CO₂
DI ATAS PERMUKAAN TANAH (*ABOVE
GROUND BIOMASS*) BERDASARKAN
PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN WILAYAH
PESISIR KECAMATAN TELUK PANDAN
DAN PADANG CERMIN KABUPATEN
PESAWARAN PROVINSI LAMPUNG**

Nama Mahasiswa

: Fadillah Asmaulfaah

Nomor Pokok Mahasiswa : 2014221011

Program Studi

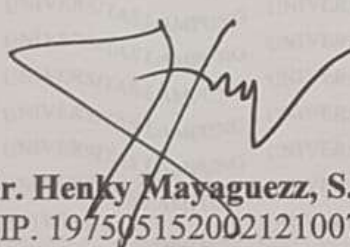
: Ilmu Kelautan

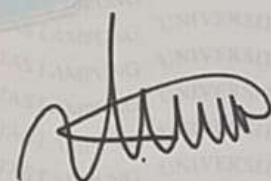
Fakultas

: Pertanian

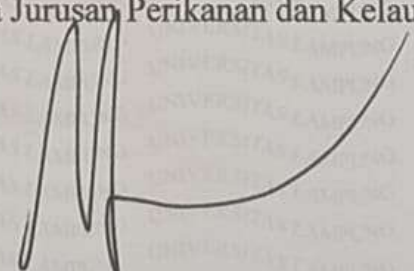
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T.
NIP. 197505152002121007


Anna Hari Kusuma, S.I.K., M.Si.
NIP. 199001202019031011

2. Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan

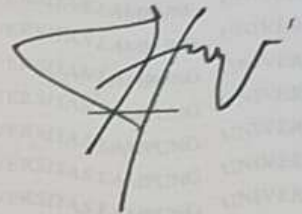

Munti Sarida, S.Pi., M.Sc., Ph.D.
NIP. 198309232006042001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

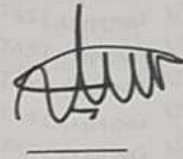
Ketua

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



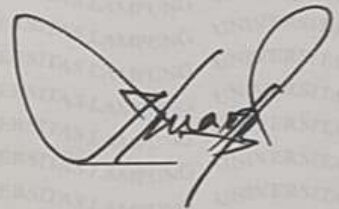
Sekretaris

: Anma Hari Kusuma, S.I.K., M.Si.



Penguji

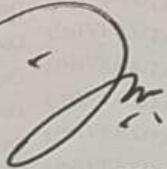
: Dr. Moh. Muhaemin, S.Pi., M.Si.



2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.
NIP. 196411181989021002



Tanggal lulus ujian skripsi: 22 Juli 2025



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS LAMPUNG
FAKULTAS PERTANIAN
JURUSAN PERIKANAN DAN KELAUTAN

Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung 35145 Telp (0721) 704946 Fax (0721) 770347

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah skripsi yang berjudul **“Dinamika Stok Karbon dan Emisi CO₂ di Atas Permukaan Tanah (*Above Ground Biomass*) Berdasarkan Perubahan Tutupan Lahan Wilayah Pesisir Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung”** tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh pihak lain untuk mendapatkan karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebut dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata dalam naskah skripsi ini ditemukan dan terbukti terdapat unsur-unsur fabrikasi, falsifikasi, plagiat dan konflik kepentingan saya bersedia skripsi ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (S1) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Bandar Lampung, 22 September 2025

Yang membuat pernyataan




Fadillah Asmaulfah
NPM. 2014221011

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Desa Gunung Putri, Bogor, Provinsi Jawa Barat, pada tanggal 22 Februari 2002 sebagai anak dari pasangan suami istri Bapak Lukman Lainta dan Ibu Okta Eliza. Penulis menempuh pendidikan sekolah dasar di SD Negeri 1 Tekad pada tahun 2008 – 2014, dilanjutkan ke pendidikan menengah pertama di SMPN 1 Pulau Pangung pada tahun 2014 – 2017, dan pendidikan menengah atas di SMAN 1 Talang Padang pada tahun 2017 – 2020. Penulis kemudian melanjutkan ke jenjang pendidikan tinggi di Program Studi Ilmu Kelautan Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada tahun 2020.

Penulis aktif pada organisasi organisasi Himpunan Mahasiswa Perikanan dan Kelautan (HIMAPIK) sebagai anggota pada periode 2020 – 2022. Penulis mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Pakuan Sakti, Kecamatan Pakuan Ratu, Kabupaten Way Kanan, Provinsi Lampung selama 40 hari pada bulan Januari-Februari 2023. Penulis juga telah melaksanakan kegiatan Praktik Umum di Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN), Bogor pada tahun 2023.

Untuk orang tua tercinta, Ibu Okta Eliza dan Bapak Lukman Lainta, yang tiada henti selalu mendoakan yang terbaik. Kakek Amin Tabri dan Nenek Ilauwana yang selalu memberikan dukungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis ucapkan ke hadirat Tuhan yang Maha Esa, karena atas rahmat dan hidayah-Nya skripsi ini dapat diselesaikan.

Skripsi dengan judul “*Dinamika Stok Karbon Dan Emisi CO₂ Di Atas Permukaan Tanah (Above Ground Biomass) Berdasarkan Perubahan Tutupan Lahan Wilayah Pesisir Kecamatan Teluk Pandan Dan Padang Cermin Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung*” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana perikanan di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P. selaku Dekan FP Unila;
2. Munti Sarida, S.Pi. M.Sc. Ph.D. selaku Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan;
3. Eko Efendi, S.T., M.Si selaku Ketua Program Studi Ilmu Kelautan
4. Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama;
5. Anma Hari Kusuma, S.I.K., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Pembantu/Sekretaris;
6. Dr. Moh. Muhaemin, S.Pi., M.Si. selaku Penguji Utama sekaligus Dosen Pembimbing Akademik.
7. Kedua orang tua, Bapak Lukman Lainta dan Ibu Okta Eliza.

Bandar Lampung, Agustus 2025

Fadillah Asmaulfah

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	3
1.3. Manfaat Penelitian	3
1.4. Kerangka Pemikiran.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Letak dan Luas Wilayah Teluk Pandan Dan Padang Cermin.....	5
2.2. Konsep Perubahan Tutupan Lahan	6
2.2.1. Definisi dan Klasifikasi Tutupan Lahan	6
2.2.2. Perubahan Tutupan Lahan	7
2.2.3. Faktor Penyebab Perubahan Tutupan Lahan	7
2.2.4. Dampak Perubahan Tutupan Lahan.....	9
2.2.5. Studi Perubahan Tutupan Lahan di Indonesia	10
2.3. Stok Karbon	11
2.4. Emisi Karbon Dioksida (CO ₂) dari Perubahan Tutupan Lahan.....	12
2.5. Teknologi Penginderaan Jauh.....	13
2.6. Citra Stelite Landsat.....	13
III. METODE PENELITIAN	18
3.1. Waktu dan Tempat.....	18
3.2. Alat dan Bahan.....	19
3.3. Metode Penelitian	19
3.3.1. Pengumpulan Data	20
3.3.2. Pengolahan Data	20
3.3.3. Analisis Data.....	22
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1. Penentuan Batas Wilayah Pesisir Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin.....	26
4.2. Analisis Perubahan Tutupan Lahan Wilayah Pesisir Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin Tahun 2003-2024	29

4.3. Validasi Klasifikasi Penutupan Lahan di Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin.....	42
4.4. Analisis Perhitungan Stok Karbon Wilayah Pesisir Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin 2003-2024.....	47
4.5. Perhitungan Emisi Karbon Dioksida (CO ₂) Akibat Perubahan Tutupan Lahan Wilayah Pesisir Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin.....	53
V. SIMPULAN DAN SARAN	55
5.1. Kesimpulan	55
5.2. Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN.....	65

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Desa/Kelurahan yang ada di Kecamatan Teluk Pandan	5
2. Desa/Kelurahan yang ada di Kecamatan Padang Cermin.....	6
3. Karakteristik <i>band Landsat 5</i>	14
4. Karakteristik <i>band Landsat 7 ETM+</i>	15
5. Kegunaan saluran <i>Landsat 8</i>	16
6. Karakteristik <i>band Landsat 9</i>	17
7. Bahan yang digunakan dalam penelitian.....	19
8. Alat yang digunakan dalam penelitian.....	19
9. Nilai stok karbon per hektar tiap tutupan lahan	23
10. Perubahan luas tutupan lahan wilayah pesisir Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin tahun 2003-2024.....	29
11. Matriks perubahan tutupan lahan wilayah pesisir Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin tahun 2003-2006.....	31
12. Matriks perubahan tutupan lahan wilayah pesisir Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin tahun 2006-2009.....	32
13. Matriks perubahan penutupan lahan wilayah pesisir Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin tahun 2009-2012.....	33
14. Matriks perubahan penutupan lahan wilayah pesisir Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin tahun 2012-2015.....	34
15. Matriks perubahan penutupan lahan wilayah pesisir Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin tahun 2015-2018.....	35
16. Matriks perubahan penutupan lahan wilayah pesisir Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin tahun 2018-2021	36
17. Matriks perubahan penutupan lahan wilayah pesisir Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin tahun 2021-2024.....	37

18. Kesesuaian <i>ground check</i> pada tutupan lahan wilayah pesisir Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin.....	42
19. Nilai stok karbon per hektar tiap tutupan lahan	46
20. Perubahan stok karbon wilayah pesisir Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin tahun 2003-2024	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pikir penelitian.....	4
2. Peta lokasi penelitian.....	18
3. Pengolahan data perubahan tutupan lahan	21
4. Diagram alir penelitian.....	25
5. Peta elevasi Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin	28
6. Perubahan tutupan lahan wilayah pesisir Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin tahun 2003-2024.....	38
7. Peta perubahan tutupan lahan wilayah pesisir Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin.....	39
8. Peta Ground Check Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin.....	44
9. Peta stok karbon di atas permukaan tanah Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin tahun 2003 dan 2024	50
10. Peta Emisi CO ₂ di Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin tahun 2003- 2024.....	53

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Kesesuaian <i>ground check</i> pada tutupan lahan di Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin	63

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Wilayah pesisir merupakan ruang pertemuan antara daratan dan lautan yang memiliki potensi hayati dan non hayati yang sangat besar (Bengen, 2000). Aktivitas perikanan seperti penangkapan dan budidaya banyak terpusat di wilayah pesisir. Selain itu, sebagai kawasan dengan tingkat aksesibilitas yang tinggi, kegiatan jasa-jasa lingkungan seperti transportasi, industri dan pariwisata juga berkembang pesat (Bohari et al., 2010). Hal tersebut menyebabkan kawasan pesisir rentan menghadapi kerusakan. Kerusakan kawasan pesisir banyak didorong oleh aktivitas manusia yang melakukan alih fungsi lahan (perubahan tutupan lahan) pesisir menjadi kawasan budidaya, permukiman dan industri (Setyawan et al., 2003).

Perubahan penutupan lahan merupakan sektor penyumbang emisi gas rumah kaca terbesar. Aktivitas antropogenik, seperti konversi lahan, deforestasi, dan pembakaran bahan fosil, telah meningkatkan konsentrasi CO₂ di atmosfer, yang menyebabkan peningkatan suhu global. Konversi lahan hutan menjadi pemukiman atau penggunaan lahan lainnya dapat mengurangi kemampuan hutan dalam menyimpan karbon. Hutan memiliki peran utama dalam mengatur keseimbangan iklim global. Hutan tidak hanya menyerap karbon melalui proses fotosintesis, tetapi juga menyimpan karbon dalam bentuk biomassa dan bahan organik tanah.

Peningkatan jumlah populasi penduduk menjadi salah satu faktor terjadinya perubahan lahan dan ketersediaan penggunaan lahan untuk menampung berbagai aktivitas. Upaya meningkatkan kualitas hidup, penduduk melakukan modifikasi lingkungan dengan menciptakan ruang baru melalui konversi lahan. Kebutuhan akan pemukiman, aktivitas industri, aktivitas perdagangan dan jasa, serta akti-

vititas lainnya yang mengakibatkan perubahan perubahan lahan non terbangun menjadi lahan terbangun. Situasi tersebut berdampak pada perubahan iklim termasuk hilangnya kemampuan lahan dalam menyerap emisi karbon yang disebabkan dari aktivitas manusia (Lubis, 2011).

Berdasarkan Peraturan Daerah No 12 Tahun 2014, Kecamatan Padang Cermin mengalami pemekaran wilayah yang membentuk Kecamatan Teluk Pandan. Pemekaran wilayah terjadi karena adanya peningkatan jumlah penduduk dan kebutuhan akan infrastruktur yang lebih baik. Arsandi et al. (2017), mengungkapkan bahwa pemekaran wilayah membawa dampak langsung terhadap peningkatan konversi lahan, terutama pada sektor perumahan dan pertanian. Hal tersebut menyebabkan kedua kecamatan mengalami perubahan tutupan lahan yang signifikan. Menurut penelitian yang dilakukan Buana et al. (2015), kawasan mangrove di Kecamatan Padang Cermin mengalami penurunan luasan akibat konversi menjadi tambak dan permukiman. Hal serupa juga terjadi di Teluk Pandan, ekspansi sektor pertanian dan permukiman menyebabkan perubahan signifikan pada tutupan lahan mangrove (Anisa, 2022).

Berdasarkan latar belakang tersebut, perlu dilakukan penelitian tentang stok karbon dan emisi CO₂ sebagai upaya mitigasi perubahan iklim. Penelitian tentang stok karbon di berbagai ekosistem, termasuk mangrove, hutan, dan lahan pertanian, dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai potensi penyerapan karbon yang ada di alam. Selain itu, penelitian emisi CO₂ dapat membantu mengidentifikasi sumber utama emisi di suatu kawasan, sehingga dapat dikembangkan strategi mitigasi yang lebih efektif untuk mengurangi dampak perubahan iklim. Dengan mengetahui kapasitas penyimpanan karbon dan emisi CO₂ kebijakan yang lebih terarah dan berbasis data dapat diterapkan untuk mengurangi dan mempercepat pencapaian tujuan pengurangan gas rumah kaca. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan jawaban seberapa besar stok karbon dan emisi CO₂ yang ada pada wilayah pesisir Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin, Kabupaten Pesawaran.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut:

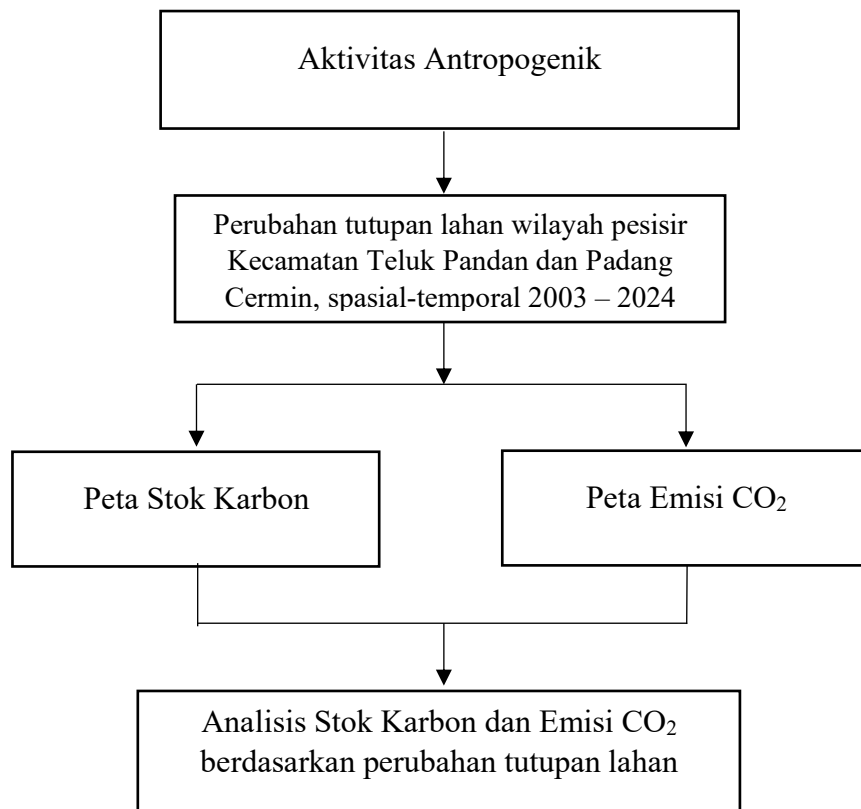
1. Menganalisis perubahan tutupan lahan di wilayah pesisir Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin, Kabupaten Pesawaran.
2. Menganalisis stok karbon selama 22 tahun terakhir (2003-2024) di wilayah pesisir Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin, Kabupaten Pesawaran.
3. Mengestimasi emisi CO₂ berdasarkan perubahan tutupan lahan di wilayah pesisir Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin, Kabupaten Pesawaran.

1.3. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi, baik bagi pemerintah maupun masyarakat, untuk pengembangan strategi pengelolaan lahan yang lebih berkelanjutan, seperti restorasi ekosistem atau perlindungan kawasan konservasi yang dapat menyimpan karbon lebih banyak.

1.4. Kerangka Pemikiran

Aktivitas antropogenik, seperti deforestasi, konversi lahan untuk pertanian, perkebunan, dan pembangunan infrastruktur, telah menyebabkan kerusakan ekosistem hutan dan berkurangnya kapasitas hutan dalam menyerap karbon. Aktivitas tersebut, dapat memicu terjadinya peningkatan emisi CO₂ dan memperburuk iklim global. Perubahan penggunaan lahan sebagian besar didorong oleh pertumbuhan penduduk, perluasan kota, peningkatan kebutuhan energi dan pangan, serta perubahan kondisi sosial ekonomi. Perhitungan stok karbon dan emisi CO₂ dianalisis dengan menggunakan analisis spasial temporal. Kerangka pikir penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka pikir penelitian

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Letak dan Luas Wilayah Teluk Pandan Dan Padang Cermin

Kecamatan Teluk Pandan merupakan sebuah Kecamatan di Kabupaten Pesawaran, Kecamatan tersebut menjadi bagian dari pemekaran Kecamatan Padang Cermin. Kecamatan Teluk Pandan mempunyai batas-batas wilayah diantaranya; sebelah utara berbatasan dengan Kecamatan Teluk Betung Utara, sebelah timur berbatasan dengan Kecamatan Teluk Betung Barat, sebelah selatan berbatasan dengan Kecamatan Padang Cermin dan sebelah barat berbatasan dengan Kecamatan Hutan Kawasan (PEMKAB, 2014). Kecamatan Teluk Pandan terbagi menjadi 10 desa/kelurahan. Menurut data yang diambil dari Badan Pusat Statistik, (2021) luas setiap Desa/Kelurahan yang ada di Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Desa/Kelurahan yang ada di Kecamatan Teluk Pandan

No	Nama Desa/Kelurahan	Luas (km ²)
1	Batu Menyan	4,50
2	Cilimus	4,16
3	Gebang	6,07
4	Hanura	9,00
5	Hurun	4,13
6	Munca	4,15
7	Sidodadi	9,75
8	Sukajaya Lempasing	4,26
9	Talang Mulyo	4,54
10	Tanjung Agung	26,78
Total		77,34

Sumber: BPS Kab.Pesawaran (2021)

Tabel 2. Desa/Kelurahan yang ada di Kecamatan Padang Cermin

No	Nama Desa/Kelurahan	Luas (km ²)
1	Sanggi	16,00
2	Durian	8,29
3	Banjaran	15,62
4	Way Urang	10,26
5	Paya	10,06
6	Tambangan	7,14
7	Hanau Berak	14,37
8	Padang Cermin	32,78
9	Gayau	7,20
10	Tri Mulyo	6,12
11	Khepong Jaya	8,43
12	Dantar	34,29
Total		170,56

Sumber: BPS Kab.Pesawaran (2021)

2.2. Konsep Perubahan Tutupan Lahan

2.2.1. Definisi dan Klasifikasi Tutupan Lahan

Klasifikasi tutupan lahan adalah tutupan biofisik pada permukaan bumi yang dapat diamati merupakan suatu hasil pengaturan, aktivitas dan perlakuan manusia yang dilakukan pada jenis penutup lahan tertentu untuk melakukan kegiatan produksi, perubahan, ataupun perawatan pada penutup lahan tersebut (BSN, 2010). Tutupan lahan adalah kenampakan material fisik permukaan bumi. Tutupan lahan dapat menggambarkan keterkaitan antara proses alami dan proses sosial. Tutupan lahan dapat menyediakan informasi yang sangat penting untuk keperluan pemodelan serta untuk memahami fenomena alam yang terjadi di permukaan bumi (Gong et al., 2013). Data tutupan lahan juga digunakan dalam mempelajari perubahan iklim dan memahami keterkaitan antara aktivitas manusia dan perubahan global (Running, 2008). Kelas penutup lahan dibagi menjadi dua bagian besar, yaitu daerah bervegetasi dan daerah tak bervegetasi. Semua kelas penutup lahan dalam kategori daerah bervegetasi diturunkan dari pendekatan konseptual struktur fisiognomi yang konsisten dari bentuk tumbuhan, bentuk tutupan, tinggi tumbuhan, dan distribusi spasialnya. Sedangkan dalam kategori daerah tak bervegetasi, pendetailan kelas mengacu pada aspek permukaan tutupan, distribusi atau kepadatan dan ketinggian atau kedalaman objek.

2.2.2. Perubahan Tutupan Lahan

Penutupan lahan merupakan kenampakan visual dari vegetasi, benda alam dan unsur budaya yang ada di permukaan bumi. Perubahan tutupan lahan diartikan sebagai bentuk peralihan dari penggunaan lahan sebelumnya ke penggunaan lahan lainnya dengan sifat luasan lahan adalah tetap, sehingga adanya perubahan-perubahan pada lahan tertentu akan menyebabkan pengurangan atau penambahan pada penggunaan lahan lainnya (Assyakur et al., 2010). Perubahan tutupan lahan merujuk pada transformasi suatu bentuk tutupan lahan ke bentuk lain yang diikuti dengan penambahan atau pengurangan jenis penggunaan yang tidak beraturan atau perubahan fungsi lahan yang tidak beraturan (Setiawan, 2021). Perubahan yang terjadi pada penggunaan tanah atau tutupan lahan umumnya terjadi karena faktor manusia seperti penambahan penduduk dan struktur sosial dan faktor alami seperti kekeringan, banjir, kebakaran dan gunung meletus (Abdullah, 2008).

Pertumbuhan penduduk yang tinggi di suatu wilayah mendorong kebutuhan untuk membuka lahan baru untuk pemukiman atau pertanian. Jenis pekerjaan yang dominan di wilayah tersebut juga berperan penting dalam perubahan tutupan lahan, karena semakin banyak penduduk yang bekerja di bidang pertanian, semakin besar kebutuhan akan lahan yang dapat mendorong konversi berbagai jenis tutupan lahan. Hidayah & Suharyo (2018) menyatakan, bahwa penambahan penduduk yang meningkat dengan pesat akan memunculkan permasalahan diantaranya meningkatnya kebutuhan ruang atau penggunaan lahan untuk memenuhi berbagai kebutuhan hidup yaitu lahan untuk budidaya, perumahan, industri, dan kegiatan lainnya. Menurut Darmawan (2002), faktor sosial ekonomi masyarakat, terutama kebutuhan hidup, berperan signifikan dalam mengubah pola tutupan lahan di sekitar kawasan tersebut.

2.2.3. Faktor Penyebab Perubahan Tutupan Lahan

Perubahan tutupan lahan adalah proses yang kompleks dan cukup dinamis, yang dipengaruhi oleh interaksi antara faktor alamiah dan aktivitas antropogenik. Berikut adalah faktor penyebab perubahan tutupan lahan:

1. Degradasi

Menurut Masganti et al. (2014), degradasi lahan disebabkan oleh tiga aspek yaitu fisik, kimia dan biologi. Degradasi fisik terjadi dalam bentuk pemadatan, pergerakan, ketidakseimbangan air, terhalangnya aerasi dan drainase dan kerusakan struktur tanah. Degradasi kimiawi terjadi akibat dari asidifikasi, penguasaan dan pencucian hara, ketidakseimbangan unsur hara dan keracunan, salinisasi dan pemasaman, alkanisasi serta pencemaran. Sedangkan degradasi biologis antara lain disebabkan karena karbon organik tanah, penurunan keanekaragaman hayati tanah dan vegetasi, serta penurunan karbon biomas. Sitorus et al. (2011) mengatakan, bahwa degradasi lahan juga terkait penurunan produktivitas lahan yang sifatnya sementara maupun tetap, yang dicirikan dengan penurunan sifat fisik, kimia dan biologi. Akibat lanjut dari proses degradasi lahan adalah timbulnya areal-areal yang tidak produktif yang disebut lahan kritis.

2. Deforestasi

Secara sederhana deforestasi didefinisikan sebagai perubahan tutupan suatu wilayah dari berhutan menjadi tidak berhutan, dari suatu wilayah yang sebelumnya berupa hutan (vegetasi pohon dengan kerapatan tertentu) menjadi bukan hutan (bukan vegetasi pohon atau bahkan tidak bervegetasi). Hal itu sejalan dengan definisi yang dinyatakan Permen Kehutanan RI No. P.30/Menhut-II Tahun 2009, deforestasi adalah perubahan permanen dari area berhutan menjadi tidak berhutan yang disebabkan oleh aktivitas manusia. Hilangnya tutupan lahan berhubungan erat dengan aktivitas manusia atau adanya gangguan alam. Di antaranya, perubahan lahan hutan menjadi lahan pertanian, padang rumput, pemukiman, lahan basah dan lahan lainnya. Pada penelitian yang dilakukan oleh Elfayetti et al. (2024), menunjukkan adanya deforestasi hutan mangrove pada periode 2012-2022 di Kecamatan Percut Sei Tuan. Deforestasi disebabkan tingginya laju konversi lahan hutan mangrove ke sektor lainnya. Faktor utama konversi mangrove di Kecamatan Percut Sei Tuan Kabupaten Deli Serdang adalah faktor antropogenik yang meliputi perikanan khususnya tambak dan perkebunan sawit. Sedangkan faktor lingkungan terutama angin dan arus laut, tidak terlalu berpengaruh terhadap hutan mangrove di Kecamatan Percut Sei Tuan Kabupaten Deli Serdang.

2.2.4. Dampak Perubahan Tutupan Lahan

Perubahan tutupan lahan merupakan proses konversi penutup alami bumi, seperti hutan, padang rumput, atau lahan basah, menjadi bentuk penggunaan lain seperti pertanian, Pemukiman, atau kawasan industri. Proses tersebut sering kali didorong oleh pertumbuhan penduduk, pembangunan infrastruktur, dan ekspansi pertanian. Meskipun penting untuk pembangunan ekonomi, perubahan tersebut memberikan berbagai dampak negatif terhadap lingkungan dan kehidupan manusia (Lambin & Geist, 2006). Berikut dampak dari perubahan tutupan lahan;

1. Peningkatan Emisi Gas Rumah Kaca

Perubahan tutupan lahan, terutama deforestasi dan pembakaran lahan, melepaskan karbon dioksida (CO₂) dan metana (CH₄) ke atmosfer. Proses tersebut berkontribusi langsung terhadap pemanasan global. Menurut IPCC (2021), sektor penggunaan lahan menyumbang sekitar 10% hingga 15% dari total emisi CO₂ global per tahun.

2. Kehilangan Keanekaragaman Hayati (*Biodiversity Loss*)

Pengubahan habitat alami seperti hutan menjadi lahan pertanian atau pemukiman menyebabkan punahnya spesies flora dan fauna yang tidak dapat beradaptasi. Hutan tropis yang kaya spesies sangat rentan, dan ketika rusak, menyebabkan kepunahan massal dalam skala lokal maupun global.

3. Degradasi dan Erosi Tanah

Saat tutupan vegetasi hilang, tanah menjadi rentan terhadap erosi oleh angin dan air. Hal tersebut menurunkan kesuburan tanah dan memicu degradasi lahan dan dapat mengurangi produktivitas pertanian dan meningkatkan ketergantungan pada pupuk kimia (Pimentel et al., 1995).

4. Gangguan Siklus Hidrologi

Hilangnya vegetasi mengganggu kemampuan tanah untuk menyerap dan menyimpan air. Hal tersebut menyebabkan meningkatnya limpasan air permukaan yang memicu banjir saat musim hujan dan kekeringan saat musim kemarau, serta menurunkan cadangan air tanah.

2.2.5. Studi Perubahan Tutupan Lahan di Indonesia

Penelitian tentang perubahan tutupan lahan sebelumnya pernah dilakukan. Pada penelitian Akbar et al. (2022) yang dilakukan di daerah kabupaten Gowa dan kabupaten Jeneponto provinsi Sulawesi Selatan pada tahun 2017-2021, penutupan lahan pemukiman mengalami peningkatan yang sebelumnya seluas 3.135,15 ha menjadi 4.617,11 ha. Peningkatan luasan pemukiman di lokasi penelitian disebabkan adanya konversi hutan, lahan terbuka, pertanian lahan kering campur, sawah dan perkebunan menjadi areal pemukiman. Peningkatan jumlah penduduk dari tahun ketahun mempengaruhi bertambahnya lahan pemukiman karena masyarakat membutuhkan lahan sebagai tempat tinggal.

Menurut Assyakur et al. (2010) peningkatan jumlah penduduk senantiasa diikuti dengan peningkatan kebutuhan akan lahan. Selain itu, pada penelitian Sianturi et al. (2019) yang dilakukan di kawasan pesisir Kabupaten Gresik, pada tahun 2017, lahan terbangun mengalami peningkatan sebesar 58% dan merupakan peningkatan paling tinggi daripada tahun-tahun sebelumnya. Berdasarkan hasil wawancara yang dilakukan oleh peneliti, faktor-faktor yang berpengaruh terhadap perubahan tutupan lahan di Kabupaten Gresik adalah aksesibilitas, pertumbuhan ekonomi dan pertumbuhan penduduk. Pada penelitian yang dilakukan Kartika et al. (2019) di wilayah pesisir kota Pekalongan, perubahan penggunaan lahan pesisir Kota Pekalongan dari tahun 2015-2019 terjadi variasi perubahan (bertambah atau berkurang) penggunaan lahan sawah pada tahun 2015-2019 mengalami penambahan yaitu bertambah $\pm 22,35$ ha. Penyebab perubahan penggunaan lahan di wilayah pesisir Kota Pekalongan antara lain disebabkan oleh faktor antropogenik yang sangat menonjol terutama karena faktor pertumbuhan ekonomi, perkembangan infrastruktur dan penambahan jumlah penduduk, namun perubahan penggunaan lahan di Kota Pekalongan juga didominasi oleh faktor alam yaitu banjir pasang (*tidal flood*) yang sudah mulai masuk ke pedalaman dan menjadi genangan sehingga mengubah sifat lahan di Kota Pekalongan.

2.3. Stok Karbon

Cadangan karbon atau stok karbon adalah kandungan karbon tersimpan di permukaan tanah sebagai biomasa tanaman, sisa tanaman yang sudah mati (nekromasa), atau dalam tanah sebagai bahan organik tanah (Agus et al., 2011). Besarnya nilai stok karbon menggambarkan banyaknya karbon yang diserap oleh tanaman. Stok karbon berhubungan erat dengan biomassa tanaman. Sebagian karbon digunakan sebagai energi dalam proses fisiologi tanaman dan sebagian masuk kedalam struktur tumbuhan dan menjadi bagian dari tumbuhan, misalnya selulosa yang tersimpan pada batang, akar, ranting dan daun (Heriyanto & Subiandono, 2012).

Larasati (2012) menjelaskan bahwa akumulasi karbon dalam tubuh tumbuhan hidup disebut proses sekuestrasi karbon (*C-Sequestration*). Pengukuran jumlah karbon yang disimpan dalam biomassa tanaman di suatu lahan dapat mencerminkan seberapa banyak CO₂ dari atmosfer yang diserap oleh tumbuhan tersebut. Oleh karena itu, volume tumbuhan menjadi indikator untuk jumlah cadangan karbon yang tersimpan. Chanan (2012) menyatakan, bahwa nilai biomassa memiliki hubungan positif dengan nilai stok karbon dan serapan CO₂ artinya nilai biomassa yang tinggi akan diikuti nilai stok karbon dan serapan CO₂ yang tinggi.

Siklus karbon dibagi menjadi tiga tahapan proses yaitu penyerapan, penyimpanan, dan pengeluaran (Lugina et al., 2011). Proses penyerapan melibatkan pengambilan CO₂ dari atmosfer oleh tumbuhan untuk membentuk daun, batang, dan akar melalui proses fotosintesis. Pada proses penyimpanan karbon yang diserap akan disimpan pada bagian daun, batang dan akar. Tumbuhan menyimpan karbon terbanyak pada bagian batangnya. Proses pengeluaran karbon pada tumbuhan disebabkan oleh beberapa hal seperti penebangan pohon, pembukaan lahan dan pembakaran hutan (Alongi, 2012). Perubahan bentuk karbon menjadi dasar dalam perhitungan emisi karbon, di mana sebagian besar karbon (C) yang terurai akan terikat dengan oksigen (O₂) dan berubah menjadi CO₂. Akibatnya, ketika hutan dengan luas satu hektar hilang, biomassa pohon-pohon tersebut cepat atau lambat akan terurai dan unsur karbonnya terikat ke udara menjadi emisi. Sebaliknya, ketika lahan kosong ditanami dengan tumbuhan, terjadi proses pengikatan

karbon dari udara kembali ke dalam biomassa tumbuhan seiring dengan pertumbuhannya (sequestrasi) (Hairiah et al., 2011).

2.4. Emisi Karbon Dioksida (CO₂) dari Perubahan Tutupan Lahan

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 4 Tahun 2014 pasal 1 ayat 4, emisi adalah zat, energi atau komponen lain yang dihasilkan dari suatu kegiatan yang masuk atau dimasukkannya ke dalam udara ambien yang mempunyai atau tidak mempunyai potensi sebagai unsur pencemar. Emisi karbon didefinisikan sebagai pelepasan gas yang mengandung karbon ke atmosfer. karbon merupakan salah satu penyebab terjadinya pemanasan global. Seperti diketahui, pemanasan global merupakan kejadian terperangkapnya radiasi gelombang panjang matahari (gelombang panas), panas yang dilepaskan dari bumi diserap oleh karbon dioksida di udara dan dipancarkan kembali ke permukaan bumi, sehingga proses tersebut akan memanaskan bumi. Emisi karbon adalah jumlah total karbon yang dihasilkan oleh suatu kegiatan. Hasil emisi dapat berupa gas CO atau gas CO₂ yang dilepaskan langsung maupun tidak langsung oleh aktivitas manusia. Emisi karbon, terutama dalam bentuk gas karbon dioksida (CO₂), merupakan gas rumah kaca yang dapat memperkuat efek rumah kaca (ERK). Efek tersebut dapat meningkatkan suhu rata-rata permukaan bumi, yang dikenal sebagai pemanasan global.

Perubahan tutupan lahan merupakan salah satu penyebab utama emisi karbon dioksida (CO₂) ke atmosfer. Proses tersebut mencakup aktivitas seperti deforestasi, konversi hutan menjadi lahan pertanian atau pemukiman, serta degradasi lahan yang menyebabkan pelepasan karbon yang sebelumnya tersimpan dalam biomassa vegetasi dan tanah. Ketika pohon ditebang atau dibakar, karbon yang masih tersimpan dalam batang, daun dan akar akan dilepaskan sebagai CO dan berkontribusi terhadap pemanasan global. Menurut IPCC (2021), sektor penggunaan lahan dan perubahan tutupan lahan menyumbang sekitar 10% hingga 15% dari total emisi karbon dioksida global setiap tahunnya. Angka tersebut menunjukkan bahwa perubahan tutupan lahan menjadi salah satu sumber emisi yang signifikan dan perlu mendapat perhatian khusus.

2.5. Teknologi Pengindraan Jauh

Secara garis besar, penginderaan jauh merujuk pada ilmu, teknik, seni dan teknologi yang bertujuan untuk mendapatkan informasi atau data tentang kondisi fisik suatu objek, target, area, atau fenomena tanpa perlu melakukan kontak langsung atau menyentuh benda yang dimaksud (Soenarmo, 2009). Sistem penginderaan jauh dapat dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu sistem aktif dan sistem pasif. Pada sistem aktif, sensor menghasilkan energi dalam bentuk radiasi gelombang tertentu yang dipancarkan ke objek, kemudian menerima kembali pantulan atau sinyal energi tersebut. Sedangkan pada sistem pasif, penginderaan jauh dilakukan dengan menangkap dan merekam radiasi yang dipantulkan, dipancarkan, atau dihamburkan oleh objek dari sumber energi eksternal, seperti matahari dan juga dari objek itu sendiri. Data yang dihasilkan dari penginderaan jauh berbentuk citra, yang merupakan representasi visual dari objek yang direkam oleh kamera atau sensor lainnya. Citra penginderaan jauh berupa citra satelit, yang merupakan hasil rekaman permukaan bumi oleh sensor yang digunakan.

Penggunaan penginderaan jauh semakin meluas karena manfaatnya yang beragam. Salah satunya adalah kemampuan untuk merepresentasikan objek di permukaan bumi sesuai dengan keadaan sebenarnya. Selain itu, citra penginderaan jauh memiliki kelebihan seperti resolusi waktu yang tinggi dan kemampuan untuk menjangkau area yang luas dalam waktu yang relatif singkat. Oleh karena itu, citra yang dihasilkan oleh penginderaan jauh dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan sesuai dengan kebutuhan dan spesifikasi masing-masing.

2.6. Citra Satelit *Landsat*

Program satelit *Landsat* merupakan program satelit yang telah beroperasi dalam pengambilan citra bumi selama periode yang paling panjang. Tujuan utama dari program *Landsat* adalah untuk mengumpulkan data sumber daya bumi secara sistematis dan berulang. Satelit *Landsat* yang dimiliki oleh Amerika Serikat, pertama kali diluncurkan pada tahun 1972 dengan nama *Earth Resources Technology Satellite-1* (ERTS-1). Kesuksesan proyek eksperimental mengakibatkan kelanjutan program dengan diluncurkannya seri-seri berikutnya, yang kemudian diberi

nama *Landsat*. Hal itu mengubah nama ERTS-1 menjadi *Landsat-1* (Aftriana, 2013).

Citra *Landsat 5* diluncurkan pada tanggal 1 Maret 1984 dengan dilengkapi sensor *Thematic Mapper* (TM) dan memiliki resolusi 30x30 m² pada *band* 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7. Instrumen TM merupakan sistem sensor berupa *cross-track 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 *United States Geological Survey* (USGS) mengumumkan akan menonaktifkan *Landsat* tersebut. Karakteristik *band Landsat 5* dijelaskan pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik *band Landsat 5*

Saluran	Panjang Gelombang (μm)	Fungsi
<i>Band 1 (Blue)</i>	0,45-0,52	Studi tanah, batimetri, identifikasi vegetasi.
<i>Band 2 (Green)</i>	0,52-0,60	Studi menilai kekuatan tanaman.
<i>Band 3 (Red)</i>	0,63-0,69	Membedakan lereng vegetasi
<i>Band 4 (Near Infra-Red/NIR)</i>	0,76-0,90	Studi biomassa dan garis Pantai.
<i>Band 5 (SWIR 1)</i>	1,55-1,75	Studi membedakan kadar air tanah dan vegetasi
<i>Band 6 (LWIR)</i>	10,40-12,50	Studi suhu dan kelambaban tanah
<i>Band 7 (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 sedikit perbedaan spesifikasi dari satelit sebelumnya, *Landsat 6*, yang tidak berhasil diluncurkan. *Landsat 7 ETM+* dilengkapi dengan sensor *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) dan ditempatkan pada ketinggian orbit sekitar 705 km di atas permukaan Bumi. Satelit memiliki resolusi temporal 16 hari, yang berarti dapat merekam lokasi yang sama di permukaan bumi setiap 16 hari. *Landsat 7 ETM+* tidak memiliki kemampuan tampilan *off-nadir*, sehingga tidak dapat memberikan cakupan global secara harian. Citra yang dihasilkan oleh *Landsat 7 ETM+* memiliki kemiripan dengan citra yang dihasilkan oleh *Landsat TM*, namun ETM atau ETM+ pada *Landsat 7 ETM+* adalah sistem sensor yang telah ditingkatkan dari sistem TM dengan tambahan *band* pankromatik yang memiliki resolusi 15x15 m² untuk meningkatkan resolusi spasialnya. Karakteristik dari setiap *band Landsat 7 ETM+* dijelaskan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Karakteristik *band Landsat 7 ETM+*

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

Sumber: Finn et al. (2012)

Landsat 8 menampilkan beberapa peningkatan dibandingkan dengan versi sebelumnya, salah satunya terletak pada jumlah kanal panjang gelombang yang dimilikinya. Total panjang gelombang yang dimiliki oleh *Landsat 8* adalah 11 saluran, yang terbagi menjadi dua kategori, yaitu *operational land imager* (OLI) dan *thermal infrared sensor* (TIRS). OLI merupakan sistem bawaan dari *Landsat 8* yang dikembangkan oleh *Ball Aerospace*. Sementara itu, TIRS adalah sensor yang terdapat pada satelit *Landsat 8*, yang dibuat oleh *NASA Goddard Space Flight Center*. TIRS memiliki dua *band* pada wilayah termal yang memiliki resolusi spasial $100 \times 100 \text{ m}^2$. Pada Sensor OLI terdiri dari 9 saluran (*band*). Karakteristik *band* pada citra *Landsat 8* dijelaskan pada Tabel 5.

Tabel 5. Kegunaan saluran *Landsat 8*

Saluran	Kegunaan
<i>Band 1</i> (0,435-0,451 μm)	Untuk mendeteksi biru dalam dan violet.
<i>Band 2</i> (0,425-0,512 μm)	Dirancang untuk penetrasi tubuh air.
<i>Band 3</i> (0,533-0,590 μm)	Dirancang untuk mengukur puncak pantulan hijau.
<i>Band 4</i> (0,636-0,637 μm)	Saluran absorpsi klorofil yang penting untuk diskriminasi tumbuhan.
<i>Band 5</i> (0,851-0,879 μm)	Bermanfaat untuk menentukan kandungan biomassa.
<i>Band 6</i> (1,566-1,651 μm)	Membedakan salju dan awan.
<i>Band 7</i> (2,107-2,294 μm)	Saluran yang diseleksi karena potensinya untuk membedakan tipe batuan dan untuk pemetaan dirothermal.
<i>Band 8</i> (0,503-0,676 μm)	Menggabungkan saluran warna hitam, putih dan warna tampak menjadi satu saluran dengan resolusi 15 meter.
<i>Band 9</i> (1,363-1,384 μm)	Saluran dirancang untuk awan cirrus, dapat mengurangi kesalahan penafsiran gambar yang tertutupi awan dengan citra tanah.
<i>Band 10</i> (10,60-11,19 μm)	Saluran yang tercipta akibat suhu atau panas, saluran dirancang untuk mengetahui suhu yang ada dipermukaan bumi, atau mendeteksi perbedaan suhu (kebakaran hutan)
<i>Band 11</i> (11,50-12,51 μm)	

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 (LWIR) untuk sensor TIRS-2. Karakteristik *band Landsat 9* dijelaskan pada Tabel 6.

Tabel 6. Karakteristik *band Landsat 9*

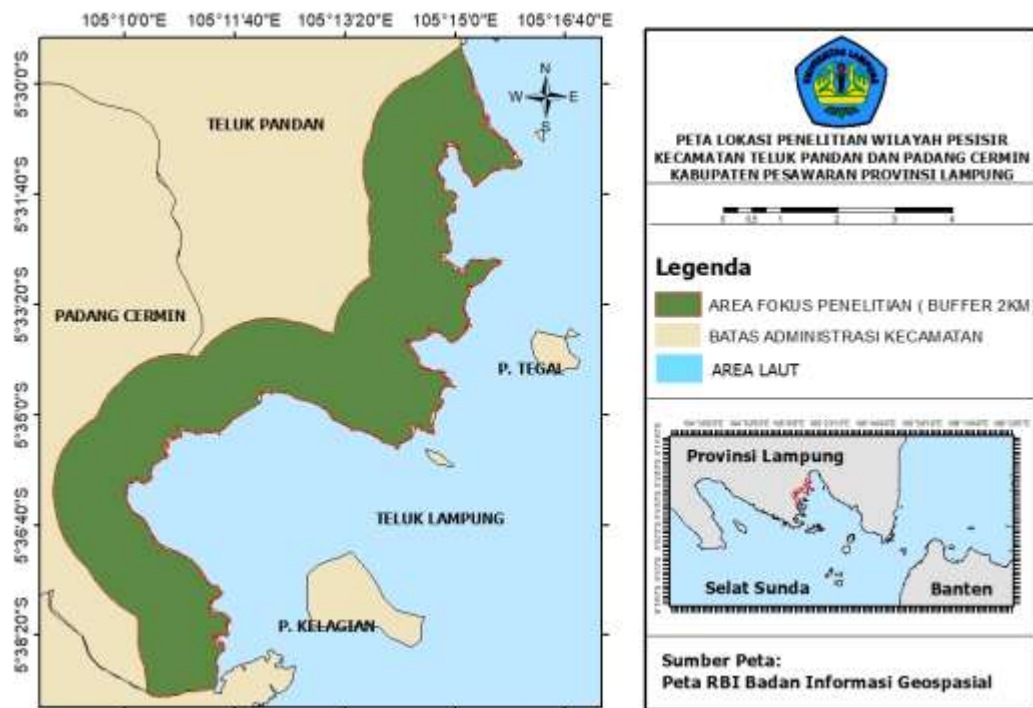
Saluran	Kegunaan
<i>Band 1</i> (0,433-0,453 μm)	Studi pesisir dan aerosol.
<i>Band 2</i> (0,450-0,515 μm)	Studi tanah, batimetri, membedakan antara vegetasi.
<i>Band 3</i> (0,525-0,600 μm)	Studi menilai kekuatan tanaman.
<i>Band 4</i> (0,630-0,680 μm)	Membedakan lereng vegetasi.
<i>Band 5</i> (0,845-0,885 μm)	Studi biomassa dan garis pantai.
<i>Band 6</i> (1,560-1,660 μm)	Studi untuk membedakan kadar air tanah dan vegetasi serta dapat menembus awan.
<i>Band 7</i> (2,100-2,300 μm)	Mengetahui peningkatan kadar air dari tanah dan vegetasi serta menetrasi awan tipis.
<i>Band 8</i> (0,500-0,680 μm)	Menampilkan gambar yang lebih tajam dengan resolusi sebesar 15 meter.
<i>Band 9</i> (1,360-1,390 μm)	Meningkatkan deteksi kontaminasi awan cirrus.
<i>Band 10</i> (10,3-11,3 μm)	Studi suhu dan kelembaban tanah.
<i>Band 11</i> (11,5-12,5 μm)	Studi suhu dan kelembaban tanah.

Sumber: Finn et al. (2012)

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada Juli 2024–Februari 2025. Lokasi penelitian dilakukan di wilayah pesisir Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin, Kabupaten Pesawaran (Gambar 2). Wilayah penelitian dipilih sejauh 2 km ke arah darat, dihitung dari garis pantai.



Gambar 2. Peta lokasi penelitian

3.2 Bahan dan Alat

Bahan dan Alat yang digunakan pada penelitian disajikan pada Tabel 7 dan Tabel 8

Tabel 7. Bahan yang digunakan dalam penelitian

No	Bahan	Sumber
1	Citra satelit <i>Landsat</i> 5 (2003, 2006, 2009)	Earthexplorer.usgs.gov/
2	Citra satelit <i>Landsat</i> 7 ETM + (2012)	Earthexplorer.usgs.gov/
3	Citra satelit <i>Landsat</i> 8 (2015, 2018, 2021)	Earthexplorer.usgs.gpv/
4	Citra satelit <i>Landsat</i> 9 (2024)	Earthexplorer.usgs.gpv/
5	Data administrasi Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin	Tanahair.indonesia.go.id/
6	Data Batas Administrasi Kabupaten Pesawaran	Tanahair.indonesia.go.id/
7	Data stok karbon per tipe tutupan lahan	Rusolono et al., (2022)

Tabel 8. Alat yang digunakan dalam penelitian

No	Alat	Kegunaan
1	Laptop	Pengolahan data dengan perangkat lunak
2	Perangkat lunak (<i>software</i>) QGIS 3.32.0	Preprocessing citra <i>Landsat</i>
3	Perangkat lunak (<i>software</i>) ArcGIS 10.8	Pengolahan data citra
4	Microsoft <i>Excel</i>	Pengolahan data hasil hitungan
5	Microsoft <i>Word</i>	Penyusunan laporan penelitian
6	GPS	Survei lapangan

3.3 Metode Penelitian

Metode yang digunakan adalah metode deskriptif yang bersifat kuantitatif. Menurut Septiani et al. (2022) metode deskriptif adalah metode penelitian yang dituju untuk membuat gambaran terhadap fenomena yang terjadi dan berlangsung dalam beberapa waktu yang terbatas. Metode deskriptif dalam penelitian adalah untuk memperoleh suatu gambaran mengenai perubahan tutupan lahan di wilayah pesisir Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin. Metode kuantitatif adalah metode penelitian yang digunakan dengan melakukan analisis pemaksimalan objek melalui pendekatan angka-angka dan pengolahan statistik secara terstruktur dan terkontrol. Metode kuantitatif dalam penelitian adalah bentuk hasil analisis perubahan tutupan lahan melalui aplikasi.

3.3.2 Pengumpulan Data

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

1. Data penginderaan jauh

Data penginderaan jauh yang digunakan pada penelitian adalah citra satelit *Landsat 5* (2003, 2006, 2009), 7 (2012), 8 (2015, 2018, 2021,) dan 9 (2024). Citra tersebut di download dari *United States Geological Survey* (USGS) melalui website <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

2. Data batas administrasi Kabupaten Pesawaran

Peta tersebut diperoleh dari lembaga pusat pengelolaan dan penyebaran 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 *National Forest Reference Level for Deforestation, Forest Degradation, and Enhancement of Forest Carbon Stock* (Rusolono et al., 2022).

3.3.3 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.

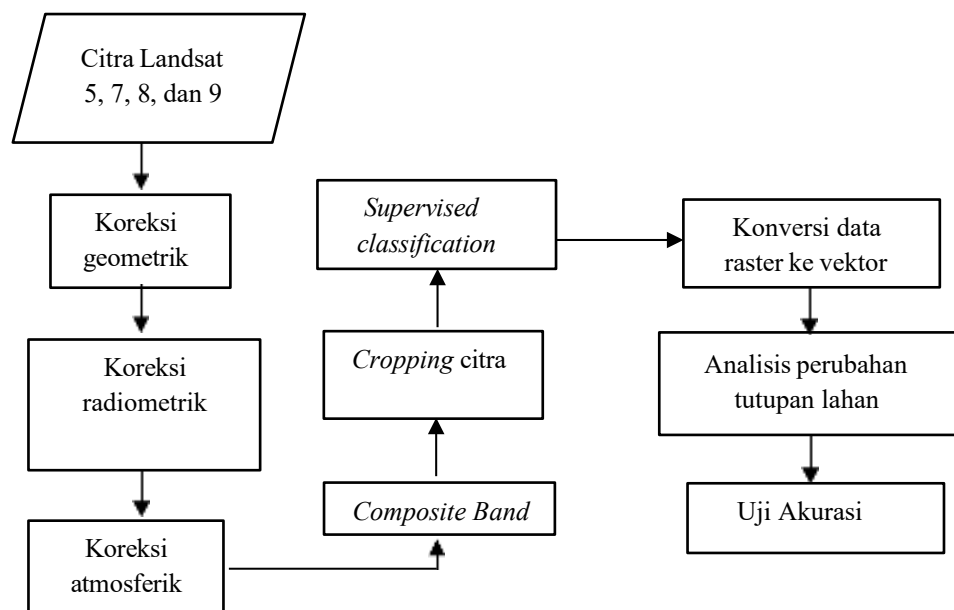
A. Tahapan Pengolahan Tutupan Lahan

Data penelitian menggunakan citra satelit *Landsat 5*, 7, 8, dan 9 yang diunduh melalui situs resmi *United States Geological Survey* (USGS) pada laman <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Peta batas administrasi Kabupaten Pesawaran berfungsi sebagai acuan dalam menentukan batas wilayah penelitian. Peneliti melakukan koreksi geometrik, radiometrik, dan atmosferik untuk menyesuaikan posisi citra dengan koordinat sebenarnya, memperbaiki kualitas visual, serta mengurangi pengaruh gangguan atmosfer. Citra hasil koreksi kemudian digabungkan melalui proses komposit *band* (RGB 453 untuk *Landsat 7* dan RGB 564 untuk *Landsat 8*) menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.8 (Permata & Rahayu, 2021).

Citra dilakukan pemotongan (*cropping*) menggunakan *tool Extract by Mask* pada ArcGIS 10.8 untuk membatasi area penelitian. Tahap berikutnya yaitu klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) yang dilakukan menggunakan data referensi dan hasil observasi lapangan agar tingkat akurasi meningkat. Data hasil klasifikasi kemudian dikonversi dari raster menjadi vektor guna mempermudah perhitungan luas tutupan lahan mangrove. Analisis perubahan tutupan lahan dilakukan dengan metode tumpang susun (*overlay*) terhadap citra tahun 2003 hingga 2024, dan hasilnya diolah menggunakan *Microsoft Excel* untuk memperoleh luas perubahan lahan secara kuantitatif. Selanjutnya dilakukan uji akurasi. Tingkat akurasi ditargetkan minimal mencapai 85%, yang berarti dari 15 titik observasi, sedikitnya 13 titik harus sesuai antara hasil klasifikasi dan kondisi lapangan. Hasil akhir dari uji akurasi didapatkan dari hasil perhitungan yang menggunakan persamaan sebagai berikut.

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

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



Gambar 3. Pengolahan data perubahan tutupan lahan
Sumber: Permata & Rahayu (2021)

B. Pengolahan Stok Karbon (Cadangan Karbon)

Pengolahan data stok karbon dilakukan melalui beberapa tahapan. Tahap pertama yaitu penginputan data peta penutupan lahan tahun 2003 hingga 2024, yang digunakan sebagai dasar analisis perubahan tutupan lahan. Selanjutnya, dilakukan proses tumpang susun (overlay) untuk menyatukan data tutupan lahan dari masing-masing tahun. Proses tersebut dilakukan agar perbedaan perubahan penutupan lahan pada Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin dapat diidentifikasi secara spasial. Tahap berikutnya adalah penggabungan data (join) antara layer tutupan lahan dan tabel data stok karbon pada setiap kelas penutupan lahan. Hasil penggabungan tersebut kemudian digunakan dalam perhitungan stok karbon, yang dilakukan dengan cara mengalikan luas masing-masing tipe tutupan lahan dengan nilai stok karbon yang sesuai. Melalui tahapan ini, diperoleh total nilai stok karbon pada wilayah penelitian berdasarkan perbedaan penutupan lahan dari tahun 2003 hingga 2024.

3.3.3 Analisis Data

Metode perhitungan yang digunakan dalam penelitian adalah penghitungan stok karbon yang dilakukan dengan menggunakan cara analisis spasial data tutupan lahan dan data stok karbon.

A. Penghitungan Stok Karbon

Penghitungan stok karbon dilakukan dengan mengalikan luas lahan kawasan pesisir kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin pada tahun 2003-2024 dengan dengan angka faktor emisi (ton C/ha) yang disajikan pada Tabel. Faktor emisi setiap tutupan lahan didapatkan dari *Above Ground Biomass* (AGB) dikalikan dengan 0,47 (1 ton biomas = 0,47) (Rusolono et al., 2022). Berdasarkan buku *National Forest Reference Level for HJ Deforestation, Forest Degradation, and Enhancement of Forest Carbon Stock*, untuk menentukan faktor emisi setiap tutupan lahan dibagi menjadi 2 yaitu kawasan hutan dan non hutan. Kawasan hutan diambil berdasarkan data per pulau atau regional, karena karakteristik hutan mulai dari diameter, tinggi dan kerapatan pohon berbeda. Sementara itu, untuk kawasan non hutan dalam menentukan nilai faktor emisi diambil berdasarkan metode rata-rata yang dihimpun dari jurnal yang di kaji dan laporan ilmiah dari universitas dan lembaga penelitian (N=182, dari 57 publikasi) sehingga

menghasilkan nilai faktor emisi non hutan yang sudah ditetapkan secara nasional. Perhitungan stok karbon dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$Skt = L \times Stl$$

Keterangan:

Skt = Stok karbon total (ton C)
 L = Luas tutupan lahan (Ha)
 Stl = Stok karbon per tipe tutupan lahan

Tabel 9. Nilai stok karbon per hektar tiap tutupan lahan

Kode Tutupan Lahan	Penutupan Lahan	AGB (ha)	Faktor Emisi (ton C/ha)
20041	Hutan Mangrove Sekunder (Sumatra)	118,02	55,46
20092	Pertanian Lahan Kering Bercampur Semak (Indonesia)	137,52	64,63
20093	Sawah (Indonesia)	21,27	10,00
2014	Lahan Terbuka (Indonesia)	5,11	2,40
2012	Pemukiman (Indonesia)	4,61	2,17
5001	Tubuh Air (Indonesia)	0	0
20094	Tambak (Indonesia)	0	0

Sumber: (Rusolono et al., 2022)

B. Penghitungan Emisi Karbon

Penghitungan 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 (3,67). Berdasarkan Mardiyadi et al. (2019) perhitungan potensi emisi dapat dilakukan dengan persamaan berikut:

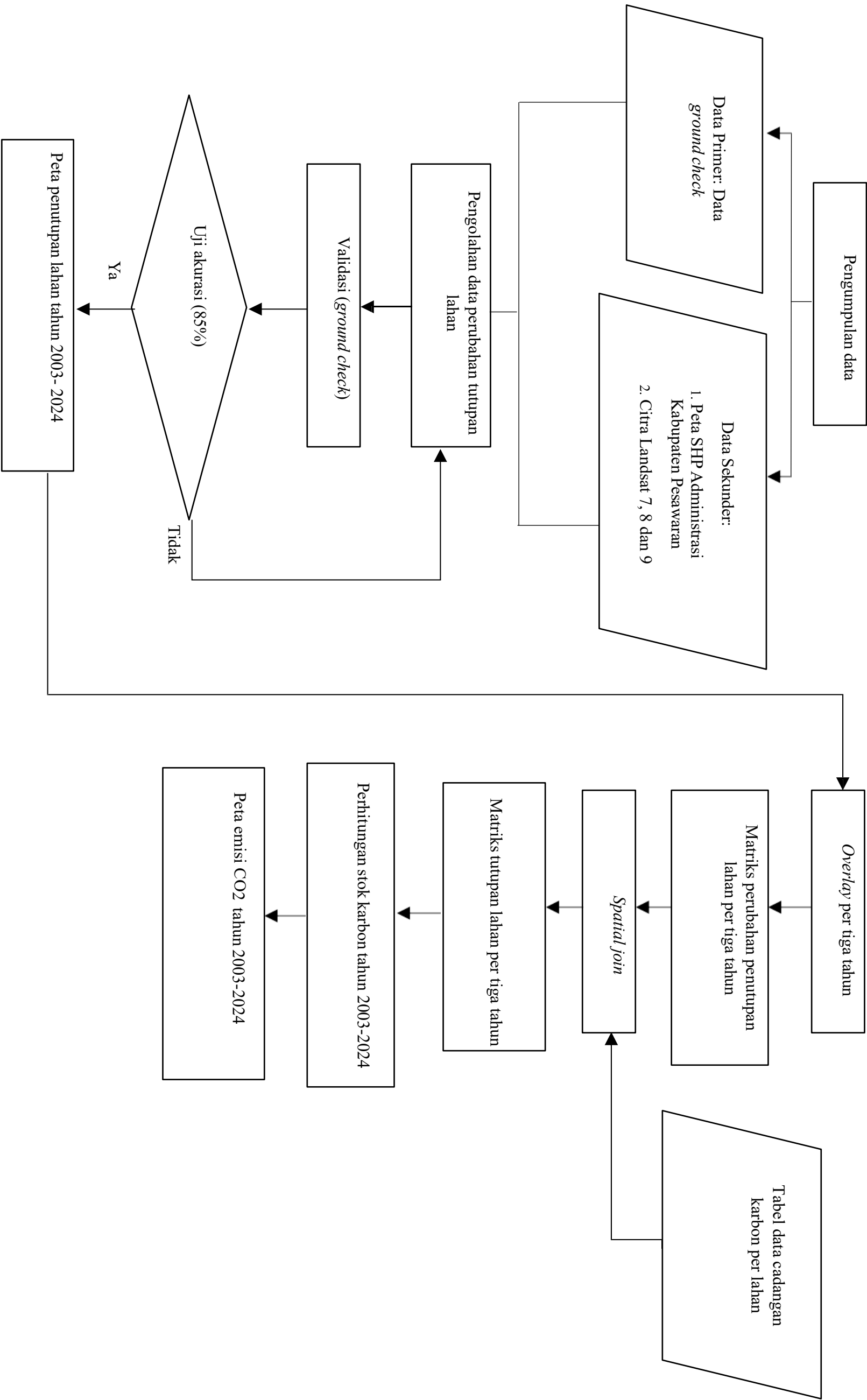
$$E = L \times S_{tl} \times 3,67$$

Keterangan: E = Emisi CO₂
 L_{tl} = Luas tutupan Lahan
 S_{tl} = Stok karbon per tipe tutupan lahan

Konstanta 3,667 diperoleh dengan mengkonversi karbon (C) ke CO₂ (massa atom C = 12 dan O = 16, maka CO₂ = (1x12) + (2x16) = 44: kemudian dikonversi yaitu CO₂/C = 44/12 = 3.67).

Dari rumus perhitungan emisi CO₂ diatas ada sedikit perbedaan dalam menghitungnya. Pertama, jika perubahan tutupan lahan terjadi akibat deforestasi (lahan hutan berubah menjadi non hutan) maka perhitungan emisi CO₂ diukur dari luas deforestasi dikalikan faktor emisi (55,46 ton C/ha) dan konstanta 3,67. Misalnya, perubahan hutan mangrove sekunder menjadi lahan tambak seluas 25 hektar memiliki faktor emisi sebesar 55,46 ton C/ha. Maka $25 \text{ ha} \times 55.46 \text{ ton C/ha} \times 3.67 = 5,0928.05 \text{ ton CO}_2$. Nilai emisi yang dihasilkan mencapai 5.092,08 ton CO₂. Kedua, jika emisi CO₂ bukan dihasilkan dari deforestasi maka perhitungan selisih atau pengurangan faktor emisi tutupan lahan. Misalkan, pada perubahan pertanian lahan kering campur menjadi permukiman seluas 40 hektar, faktor emisi pertanian lahan kering campur sebesar 64,63 ton C/ha dan faktor emisi permukiman sebesar 2,17 ton C/ha. Selisih faktor emisi sebesar 62,46 ton C/ha. Maka perhitungannya $40 \text{ ha} \times 62,46 \text{ ton C/ha} \times 3.67 = 9,462,72 \text{ ton CO}_2$. Artinya, perubahan 40 hektar semak belukar menjadi permukiman menghasilkan emisi karbon dioksida sebesar $\pm 9,462,72 \text{ ton CO}_2$.

Upaya memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai alur pelaksanaan penelitian, seluruh tahapan yang telah dijelaskan pada bagian metode, mulai dari pengumpulan data, pengolahan citra satelit, validasi lapangan, hingga analisis stok karbon dan emisi CO₂, disusun secara sistematis dalam bentuk diagram alir. Diagram tersebut bertujuan untuk memperlihatkan keterkaitan antarproses sekaligus menegaskan urutan langkah yang dilakukan sehingga penelitian dapat berlangsung terstruktur dan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan. Diagram alir penelitian ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir penelitian

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Perubahan tutupan lahan di wilayah pesisir Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin pada periode 2003–2024 menunjukkan dinamika yang cukup signifikan. Hutan mangrove sekunder mengalami peningkatan luasan, sedangkan pertanian lahan kering bercampur semak menurun drastis, sementara sawah, tambak, dan permukiman cenderung meningkat. Perubahan tersebut mencerminkan adanya alih fungsi lahan yang intensif dari vegetasi alami menuju penggunaan lahan yang lebih berorientasi pada aktivitas manusia.
2. Hasil analisis stok karbon selama periode 21 tahun memperlihatkan penurunan total cadangan karbon dari 331.733,28 ton C pada tahun 2003 menjadi 290.073,49 ton C pada tahun 2024. Penurunan sebesar 41.659,79 ton C (12,56%) atau setara dengan rata-rata kehilangan 1.983,80 ton C per tahun terutama disebabkan oleh konversi lahan pertanian kering bercampur semak ke penggunaan lain. Meskipun terdapat tambahan stok karbon dari rehabilitasi mangrove dan ekstensifikasi sawah, kontribusinya belum mampu menutupi kehilangan karbon yang cukup besar. Dengan demikian penyumbang stok karbon terbesar adalah tutupan lahan pertanian lahan kering bercampur semak.
3. Perubahan stok karbon tersebut berimplikasi pada pelepasan emisi CO₂ ke atmosfer. Total kehilangan 41.659,79 ton C setara dengan emisi sekitar 169.188,52 ton CO₂ selama periode 2003–2024, atau rata-rata 8.085,16 ton CO₂ per tahun. Hal tersebut menunjukkan bahwa konversi tutupan lahan di wilayah pesisir Kecamatan Teluk Pandan dan Padang Cermin berkon-

tribusi terhadap peningkatan emisi gas rumah kaca yang dapat mempercepat laju pemanasan global.

5.2 Saran

Diperlukan perencanaan penggunaan lahan untuk mendukung pembangunan lahan yang rendah emisi karbon, serta di sediakannya ruang terbuka hijau pada lahan terbangun agar dapat meningkatkan stok karbon dan daya serap terhadap emisi karbon

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, R. O. D. (2008). Kajian perubahan penutupan lahan di Kawasan Pesisir Kabupaten Aceh Utara, NAD menggunakan SIG (No Publikasi 5363) [Skripsi, Institut Pertanian Bogor. Repository IPB.
- Aftriana, C.V. 2013. Analisis perubahan kerapatan vegetasi kota semarang menggunakan bantuan teknologi penginderaan jauh. (No Publikasi 18788) [Skripsi, Universitas Negeri Semarang. UNNES Repository
- Agus, F., Hairiah, K., & Mulyani, A. (2011). *Measuring carbon stock in peat soils: Practical guidelines*. World Agroforestry Centre (ICRAF) Southeast Asia Regional Program & Indonesian Centre for Agricultural Land Resources Research and Development.
- Akbar, W., Soma, S. A., & Arsyad, U. (2022). Analisis perubahan penutupan lahan di DAS Kelara menggunakan Citra Sentinel 2. *Jurnal Hutan dan Masyarakat*, 14(2), 73-78.
<https://journal.unhas.ac.id/index.php/jhm/article/view/24107>.
- Alansori, A., Sariningsih, E., Luthfi, M., & Kusnadi, K. (2022). Akuntansi peduli pantai: penanaman mangrove untuk menjaga ekosistem lingkungan. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Prodi Akuntansi Malahayati*, 2(2), 141-147.
<https://ejournalmalahayati.ac.id/index.php/pkmakuntansi/article/viewFile/8835/5622>.
- Alongi, D. M. (2012). Carbon sequestration in mangrove forests. *Carbon Management*, 3(3), 313-322. <https://doi.org/10.4155/cmt.12.20>.
- Anisa, A. (2022). Pengelolaan hutan mangrove berkelanjutan di Teluk Pandan, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung (No Publikasi 66642) [Skripsi, Universitas Lampung. Repository Universitas Lampung.
- Apriliya, N. H. (2021). Analisis dampak penetapan harga kakao oleh tengkulak terhadap kesejahteraan petani ditinjau dalam perspektif ekonomi islam studi pada Desa Padang Cermin, Kecamatan Padang Cermin, Kabupaten Pesawaran (No Publikasi 13645) [Skripsi, Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung. Repository Raden Intan.

- Arsandi, A. S., Wahyu, D. R., Ismiyati, & Hermawan, F. (2017). Dampak pertumbuhan penduduk terhadap infrastruktur di Kota Semarang. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 6(4), 1–14. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jkts/article/view/18189>.
- Assyakur, A. R., Suarna, I. W., Adnyana, I. W. S., Rusna, I. W., Laksmiwati, I. A. A., & Diara, I. W. (2010). Studi perubahan penggunaan lahan di DAS Badung. *Jurnal Bumi Lestari*, 10(2), 200-207. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/blje/article/view/122>.
- Badan Standardisasi Nasional. (2010). *Klasifikasi penutup lahan* (SNI 7645:2010). Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Pusat Statistik. (2021). *Kabupaten Pesawaran Dalam Angka*. Badan Pusat Statistik.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Pesawaran. (2023). *Kecamatan Teluk Pandan Dalam Angka 2023*. BPS Kabupaten Pesawaran.
- Bengen, D.G. 2000. Pengelolaan ekosistem wilayah pesisir. *Prosiding pelatihan untuk pelatih, pengelolaan wilayah pesisir terpadu, IPB*, 73-88.
- Buana, Y., Sugiyanta, I. G., & Zulkarnain. (2015). Perubahan luas mangrove tahun 1994-2014 melalui citra *Landsat* di Kecamatan Padang Cermin. *Jurnal Penelitian Geografi*, 3(1). <https://doi.org/10.23960/jpg.v3i1.8202>.
- Bohari., Pramudya, R., Alikodra, B., Budiharsosno, S. H., & Sugeng. (2010). Model kebijakan pengelolaan wilayah pesisir secara terpadu dan berkelanjutan di Pantai Makassar Sulawesi Selatan. (No Publikasi 22537) [Disertasi, Pascasarjana Institut Pertanian Bogor]. Repository IPB.
- Canita, P. L., Haryono, D., & Kasymir, E. (2017). Analisis pendapatan dan tingkat kesejahteraan rumah tangga petani pisang di Kecamatan Padang Cermin Kabupaten Pesawaran. *Jurnal Ilmu-Ilmu Agribisnis*, 5(3), 235–241. <https://dx.doi.org/10.23960/jiia.v5i3.1635>.
- Chanan, M. (2012). Pendugaan cadangan carbon (c) tersimpan diatas permukaan tanah pada vegetasi hutan tanaman jati (*Tectona grandis Lin. F*) di sengguruh BKPH sengguruh KPH Malang Perum Perhutani II Jawa Timur. *Jurnal Gamma*, 7(2), 61-73. <https://ejournal.umm.ac.id/index.php/gamma/article/view/1935>.
- Darmawan, A. (2002). Perubahan penutupan lahan di Cagar Alam Rawa Danau (No Publikasi 16273) [Skripsi, Institut Pertanian Bogor. Repository IPB.
- Dinas Komunikasi, Informatika, dan Statistik Provinsi Lampung. (2024). *Penjabat Gubernur Lampung tanam mangrove bersama Brigif 4 Marinir dan mitra dalam peringatan HUT ke-79 Korps Marinir. Pemerintah Provinsi Lampung*. <https://lampungprov.go.id/index.php/detail-post/penjabat-gubernur-lampung-tanam-mangrove-bersama-brigif-4-marinir-dan-mitra-dalam-peringatan-hut-ke-79-korps-marinir>.

- Dzulfiqar, F., Iriany, M. R., & Andini, S. C. (2024). Dampak alih fungsi lahan pada kualitas oksigen di Indonesia: Studi pada rencana pemindahan Ibu Kota Negara Indonesia. *Peatland Agriculture and Climate Change Journal*, 1(1), 1–15. <https://doi.org/10.61511/pacc.v1i1.2024.454>.
- Ekadinata, A., Dewi, S., Hadi, D. P., Nugroho, D. K., & Johana, F. (2008). *Sistem informasi geografis dan penginderaan jauh menggunakan ILWIS open source*. World Agroforestry Centre (ICRAF)
- Elfayetti., Rosni., Yenny, N., Rahmadi. M. T., & Herdi. (2024). Analisis laju deforestasi hutan mangrove menggunakan GIS di Kecamatan Percut Sei Tuan Kabupaten Deli Serdang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(3), 565-570. <https://doi.org/10.14710/jil.22.3.565-570>.
- 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.
- Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L. L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., & Duke, N. (2011). Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 20(1), 154–159. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00584>.
- Gong, P., Wang, J., Yu, L., Zhao, Y. C., Zhao, Y. Y., Liang, L., Niu, Z. G., Huang, X. M., Fu, H. H., Liu, S., Li, C. C., Li, X. Y., Fu, W., Liu, C. X., Xu, Y., Wang, X. Y., Cheng, Q., Hu, L. Y., Yao, W. B., ... & Chen. J. (2013). Finer resolution observation and monitoring of global land cover: first mapping results with *Landsat* TM and ETM+ data. *International Journal of Remote Sensing*, 34(7), 2607-2654. <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2012.748992>.
- Hairiah, K., Ekadinata, A., Sari, RR., & Rahayu, S. (2011). *Pengukuran cadangan karbon: dari tingkat lahan ke bentang lahan. Petunjuk praktis*. (2). Bogor, World Agroforestry Centre, ICRAF SEA Regional Office, University of Brawijaya (UB).
- Heriyanto, N., M. & Subiandono, E. (2012). Komposisi dan struktur tegakan, biomasa, dan potensi kandungan karbon hutan mangrove di Taman Nasional Alas. *Jurnal Peneliti Hutan dan Konservasi Alam*, 9(1), 23-32. <https://doi.org/10.20886/jphka.2012.9.1.023-032>.
- Hidayah, Z., & Suharyo, O. S. (2018). Analisa perubahan penggunaan lahan wilayah pesisir Selat Madura. *Jurnal Rekayasa*, 11(1), 19–30. <https://doi.org/10.25077/jr.v11i1.872d7bcd>.
- IPCC. (2021). Chapter 2: Emissions trends and drivers. In P. R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, & J. Malley (Eds.), *Climate change 2021 mitigation of climate change. contribution of working group III to the sixth assessment report of the*

- intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/9781009157926.004>.
- Kartika, S. D. F., Helmi, M., & Amirudin. (2019). Analisis perubahan penggunaan lahan di wilayah pesisir kota pekalongan menggunakan citra *Landsat*. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Entrepreneurship VI Tahun 2019, Semarang*, 380-387.
<https://conference.upgris.ac.id/index.php/snse/article/view/167/99>.
- Nurchayadi, G. (2023). *Komunitas nelayan pesisir lampung ajak warga pesawaran tanam hutan mangrove*.
<https://mediaindonesia.com/nusantara/573672/komunitas-nelayan-pesisir-lampung-ajak-warga-pesawaran-tanam-hutan-mangrove>.
- Lambin, E. F., & Geist, H. J. (2006). *Land-use and land-cover change: Local processes and global impacts*. Springer Berlin, Heidelberg.
<https://doi.org/10.1007/3-540-32202-7>.
- Larasati, R., June, T., & Dewi, S. (2012). Peran Cagar Biosfer Cibodas dalam penyerapan CO₂. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan*, 9(2), 66-76. <https://doi.org/10.20886/jsek.2012.9.2.66-76>.
- Lubis, D. P. (2011). Pengaruh perubahan iklim terhadap keanekaragaman hayati di Indonesia. *Jurnal Geografi*, 3(2), 107–117.
<https://doi.org/10.24114/jg.v3i2.736>.
- Lugina M., Ginoga K. L., Wibowo. A., Bainnura. A., & Partiani, T. (2011). *Prosedur Operasi Standar (SOP) untuk pengukuran stok karbon di kawasan konservasi*. Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan Kementerian Kehutanan Indonesia.
- Long, H., Qu, Y., & Tu, S. (2021). Land use transition: A new integrated approach of land use/cover change research. *Encyclopedia*, 1(2), 171–182.
<https://doi.org/10.3390/encyclopedia1020017>.
- Mardiyadi, Z., Kresy, K., & Destri. (2019). Stok karbon pada hutan rawa berdasarkan fungsi kawasan hutan di Provinsi Papua Barat. *Jurnal Biologi*, 2(1), 11-20.
- Masganti., Wahyunto., Dariah, A., Nurhayati., & Yusuf, R. (2014). Karakteristik dan potensi pemanfaatan lahan gambut terdegradasi di Provinsi Riau. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 8(1), 59-66.
<https://media.neliti.com/media/publications/133271-ID-karakteristik-dan-potensi-pemanfaatan>.
- Maun, M. A. (2009). Salt spray and soil salinity. *In The Biology of Coastal Sand Dunes* (pp. 117–133). Oxford University Press.
<https://doi.org/10.1093/oso/9780198570356.003.0013>.
- Mulyani, A., & Las, I. (2008). Potensi dan ketersediaan sumberdaya lahan untuk mendukung ketahanan pangan. *Jurnal Litbang Pertanian*, 27(2), 43–52.

- McGranahan, G., Balk, D., & Anderson, B. (2007). The rising tide: Assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. *Environment and Urbanization*, 19(1), 17–37. <https://doi.org/10.1177/0956247807076960>.
- Nadeak, N., Qurniati, R., & Hidayat, W. (2014). Analisis finansial pola tanam agroforestri di Desa Pesawaran Indah Kecamatan Padang Cermin Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung. *Jurnal Sylva Lestari*, 1(1), 65–74. <https://doi.org/10.23960/jsl1165-74>.
- Neumann, B., Vafeidis, A. T., Zimmermann, J., & Nicholls, R. J. (2015). Future coastal population growth and exposure to sea-level rise and coastal flooding – A global assessment. *Plos One*, 10(3), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118571>.
- Nugraheni, L. I., Usman, M., & Sutarto. (2023). Development of land use change model N Pesawaran District, Lampung. *Social Science Research Network*, 20, <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4391949>.
- Permata, K. I., & Rahayu, S. (2021). Estimasi cadangan karbon akibat perubahan tutupan lahan di Kabupaten Kendal. *Teknik Perencanaan Wilayah Kota*, 10(3), 220–230. <https://doi.org/10.14710/tpwk.2021.31879>.
- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., & McNair, M. (1995). Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 267(5201), 1117–1123. <https://doi.org/10.1126/science.267.5201.1117>.
- Rochaddi, B. (2013). Penentuan batas daratan pesisir Kota Semarang dengan konsep biogeofisik. *Buletin Oseanografi Marina*, 2(3), 38–47. <https://doi.org/10.14710/buloma.v2i3.6949>.
- Rahmayanti, R. A. (2009). Partisipasi masyarakat dalam pengelolaan ekosistem mangrove di Desa Sidodadi Kecamatan Padang Cermin Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung (No Publikasi 43795) [Skripsi, Universitas Gadjah Mada. Repository UGM.
- Running, S. W. 2008. Climate change: ecosystem disturbance, carbon, and climate. *Science*, 321, 652-653. <https://doi.org/10.1126/science.1159607>.
- Rusolono, T., Darmawan, A., Novita, N., Tosiani, A., Silva, N., Adinugroho, W. C., & Marthinus, D. (2022). *National forest reference level for deforestation, forest degradation, and enhancement of forest carbon stock*. Directorate General of Climate Change. The Ministry of Environment and Forestry, Indonesia.
- Safitri, I. (2022) Analisis peran sektor perikanan dalam meningkatkan kesejahteraan masyarakat menurut perspektif ekonomi islam (No Publikasi 20867) [Skripsi, Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung. Repository Raden Intan.

- Smith, P. (2003). Science statement on current scientific understanding of the processes affecting terrestrial carbon stocks and human influences upon them. *Intergovernmental Panel on Climate Change, IPC-XXI/INF 1* (22.IX.2003). <https://abdn.elsevierpure.com/en/publications/science-statement-on-current-scientific-understanding-of-the-proc>.
- Septiani, A. D., Widjojoko, & Wardana, D. (2022). Implementasi program literasi membaca 15 menit sebelum belajar sebagai upaya dalam meningkatkan minat membaca. *Jurnal Perseda: Jurnal Pendidikan Guru Sekolah Dasar*, 5(2), 130–135. <https://doi.org/10.37150/perseda.v5i2.1708>.
- Setiawan, F. (2021). Analisis perubahan tutupan/penggunaan lahan Kabupaten Bangka Selatan Tahun 2015–2020. *Proceedings of National Colloquium Research and Community Service, UBB*, (5). <https://doi.org/10.33019/snppm.v5i0.2752>.
- Setyawan, A. D., Winarno, K., & Purnama, P. C. 2003. Ekosistem mangrove di Jawa: 1. Kondisi Terkini. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 4(2), 130–142. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d040211>
- Sianturi, P. E. R., Hasyim, W. A., & Hidayat, T. R. A. (2019). Perubahan tutupan lahan Di Kawasan Pesisir Kabupaten Gresik dan pengaruhnya bagi sosial-ekonomi. *Planning For Urban Region and Environment*, 8(3). <https://purejournal.ub.ac.id/index.php/pure/article/view/350/282>.
- Sitorus, S., Susanto, B., & Haridjaja, O. (2011). Kriteria dan klasifikasi tingkat degradasi lahan di lahan kering (Studi kasus: Lahan kering di Kabupaten Bogor). *Jurnal Tanah dan Iklim*, 34, 66–83. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/57972>.
- Simatupang, P., & Timmer, C. P. (2008). Indonesian rice production: Policies and realities. *Bulletin of Indonesian Economic Studies*, 44(1), 65–80. <https://doi.org/10.1080/00074910802001547>.
- Sumarlin, D., Gusmayanti, E., & Anshari, G. Z. (2021). Analisis perubahan penggunaan lahan dan cadangan karbon sebagai indikator degradasi lingkungan di Kecamatan Sandai, Kabupaten Ketapang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 19(3), 576–581. <https://doi.org/10.14710/jil.19.3.576-581>.
- Soenarmo, S. H. (2009). *Penginderaan jauh dan pengenalan system informasi geografis untuk bidang ilmu pertanian*. Institut Teknologi Bandung. Bandung. <https://openlibrary.telkomuniversity.ac.id/pustaka/41628/Penginderaan-jauh-dan-pengenalan-sistem-informasi-geografis-untuk-bidang-ilmu-kebumian.html>.
- Ulva, M., Prasmatiwati, F. E., & Kasymir, E. (2019). Pendapatan dan tingkat kesejahteraan rumah tangga nelayan tradisional di Kecamatan Teluk Pandan Kabupaten Pesawaran. *Jurnal Ilmu-Ilmu Agribisnis (JIIA)*, 8(2) <https://jurnal.fp.unila.ac.id/index.php/JIIA/article/view/1840>.