

**DINAMIKA STOK KARBON DAN EMISI CO₂ BERDASARKAN
PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN DI KECAMATAN MARGA PUNDUH
DAN PUNDUH PIDADA KABUPATEN PESAWARAN**

SKRIPSI

Oleh

**SAEPUDIN
NPM 2014221008**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**DINAMIKA STOK KARBON DAN EMISI CO₂ BERDASARKAN
PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN DI KECAMATAN MARGA PUNDUH
DAN PUNDUH PIDADA KABUPATEN PESAWARAN**

Oleh

SAEPUDIN

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
2025**

ABSTRAK

DINAMIKA STOK KARBON DAN EMISI CO₂ BERDASARKAN PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN DI KECAMATAN MARGA PUNDUH DAN PUNDUH PIDADA, KABUPATEN PESAWARAN

Oleh

SAEPUDIN

Tutupan lahan memiliki peran penting dalam penyimpanan karbon. Stok karbon yang tersimpan dalam ekosistem, seperti mangrove, lahan basah dan lahan pertanian berperan penting dalam mengatur siklus karbon global. Tutupan lahan Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada setiap tahunnya mengalami perubahan yang disebabkan oleh berbagai aktivitas manusia, khususnya di wilayah pesisir. Dinamika ini dapat menimbulkan kenaikan emisi CO₂ ke atmosfer. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan perubahan tutupan lahan pada tahun 2003 hingga 2024, serta mengestimasi nilai stok karbon dan emisi CO₂ berdasarkan perubahan tutupan lahan. Perubahan tutupan lahan dilihat melalui interpretasi secara visual citra satelit Landsat dari tahun 2003-2024 menggunakan ArcGIS. Stok karbon diperoleh dengan mengalikan luasan tutupan lahan dengan faktor emisi per tutupan lahan. Emisi CO₂ diperoleh dari perkalian antara luasan tutupan lahan yang mengalami perubahan, faktor emisi per tipe tutupan lahan dengan konstanta 3,67. Hasil penelitian menunjukkan nilai stok karbon selama periode tahun 2003-2024 mengalami penurunan sebesar 27.182,50 ton C dan nilai emisi CO₂ cenderung meningkat setiap tahunnya dengan nilai emisi tertinggi terjadi pada periode 2018-2021 sebesar 62.473,43 ton CO₂. Hal tersebut disebabkan oleh perubahan tutupan lahan dan aktivitas deforestasi yang banyak terjadi di wilayah pesisir. Sehingga, perubahan stok karbon dan emisi CO₂ sangat dipengaruhi oleh perubahan tutupan lahan yang terjadi di Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada Kabupaten Pesawaran.

Kata kunci: Deforestasi, Emisi CO₂, Stok Karbon, Tutupan Lahan

ABSTRACT

DYNAMICS OF CARBON STOCK AND CO₂ EMISSION BASED ON LAND COVER CHANGE IN MARGA PUNDUH AND PUNDUH PIDADA SUB-DISTRICTS, PESAWARAN REGENCY

By

SAEPUDIN

Land cover plays an important role in carbon storage. Carbon stocks stored in ecosystems, such as mangroves, wetlands and agricultural land, play an important role in regulating the global carbon cycle. The land cover of Marga Punduh and Punduh Pidada sub-districts changes every year due to various human activities, especially in coastal areas. This dynamic could lead to an increase in CO₂ emissions into the atmosphere. This study was aimed to map land cover changes from 2003 to 2024, and estimate carbon stock values and CO₂ emissions based on land cover changes. Land cover change was assessed through visual interpretation of Landsat satellite imagery from 2003-2024 using ArcGIS. Carbon stocks were obtained by multiplying the land cover area by the emission factor per land cover. CO₂ emissions are obtained from multiplying the area of land cover that has changed, the emission factor per land cover type with a constant 3.67. The results showed that the value of carbon stock during the 2003-2024 period decreased by 27.182,50 tons C and the value of CO₂ emissions tended to increase every year with the highest emission value occurring in the 2018-2021 period. This is caused by changes in land cover and deforestation activities that occur in coastal areas. Thus, changes in carbon stocks and CO₂ emissions are strongly influenced by changes in land cover that occur in Marga Punduh and Punduh Pidada Districts of Pesawaran Regency.

Keywords: Carbon Stock, CO₂ Emissions, Deforestation, Land Cover

**Judul Skripsi : DINAMIKA STOK KARBON DAN EMISI CO₂
BERDASARKAN PERUBAHAN TUTUPAN
LAHAN DI KECAMATAN MARGA PUNDUH
DAN PUNDUH PIDADA, KABUPATEN
PESAWARAN**

Nama Mahasiswa : Saepudin

Nomor Pokok Mahasiswa : 2014221008

Program Studi : Ilmu Kelautan

Fakultas : Pertanian



1. Komisi Pembimbing

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

Muhamad Gilang Arindra Putra, S.Kel., M.Si.
NIP. 199312312022031007

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 : Muhamad Gilang Arindra Putra, S.Kel., M.Si.



Penguji : Eko Efendi, S.T., M.Si.



2. Dekan Fakultas Pertanian



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



Tanggal lulus ujian skripsi: 3 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 Berdasarkan Perubahan Tutupan Lahan di Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada, Kabupaten Pesawaran”** 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, 12 Agustus 2025

Yang membuat pernyataan



Saepudin

NPM. 2014221008

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Desa Cimande, Kecamatan Caringin, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat, pada tanggal 7 Maret 2001 sebagai anak dari pasangan suami istri Bapak Ahmad Biin dan Ibu Nyai Odah. Penulis menempuh pendidikan formal dari Madrasah Ibtidaiyah Sirojul Ikhwan pada tahun 2008-2014, dilanjutkan ke pendidikan menengah pertama di SMPN Satu Atap Caringin tahun 2014-2017, dan pendidikan menengah atas di SMAN 1 Caringin 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.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif pada organisasi Himpunan Mahasiswa Perikanan dan Kelautan (HIMAPIK) sebagai Presidium Ketua Bidang Kerohanian pada periode 2022-2023, UKM-F Forum Studi Islam (FOSI) Fakultas Pertanian sebagai Ketua Bidang Kaderisasi, UKM Bina Rohani Islam (BIROHMAH) sebagai anggota Humas dan Komunitas Jejak Bermakna (JEJAMA) sebagai Ketua Divisi Ekonomi Kreatif. Penulis juga pernah menjadi asisten dosen mata kuliah renang. Penulis pernah mengikuti kegiatan magang di Taman Nasional Kepulauan Seribu Pulau Harapan pada tahun 2022. Penulis pernah mengikuti kuliah kerja nyata (KKN) di Kampung Rumbih, Kecamatan Pakuan Ratu, Kabupaten Way Ka-

nan, Provinsi Lampung selama 40 hari pada tahun 2023. Penulis juga pernah melaksanakan kegiatan Praktik Umum di Parangtritis Geomaritime Science Park (PGSP), Yogyakarta tahun 2023 dengan judul “Pemetaan Kerentanan Pesisir Parangtritis Terhadap Kenaikan Tinggi Muka Air Laut”

Untuk orang tua tersayang, Ibu Nyai Odah dan Bapak Ahmad Biin, yang tiada henti selalu mendoakan dan mendukung setiap langkah anak bungsunya.

UCAPAN TERIMA KASIH

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

Skripsi dengan judul “*Dinamika Stok Karbon dan Emisi CO₂ Berdasarkan Perubahan Tutupan Lahan di Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada, Kabupaten Pesawaran*” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains 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. Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama;
4. Muhamad Gilang Arindra Putra, S.Kel., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Pembantu/Sekretaris;
5. Eko Efendi, S.T., M.Si. selaku Penguji Utama;
6. Oktora Susanti, S.Pi., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik;
7. Kedua orang tua, Bapak Ahmad Biin dan Nyai Odah.

Bandar Lampung, Agustus 2025

Saepudin

NPM. 201422108

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	4
1.3 Manfaat	4
1.4 Kerangka Pikir	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Wilayah Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada	6
2.2 Konsep Perubahan Tutupan Lahan	7
2.2.1 Definisi dan Klasifikasi Tutupan Lahan	7
2.2.2 Perubahan Tutupan Lahan.....	10
2.2.3 Faktor Penyebab Perubahan Tutupan Lahan	11
2.2.4 Dampak Perubahan Tutupan Lahan	12
2.2.5 Studi Perubahan Tutupan Lahan di Indonesia	13
2.3 Stok Karbon	15
2.4 Emisi Karbon Dioksida (CO ₂) dari Perubahan Tutupan Lahan.....	16
2.5 Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG)	17
III. METODE PENELITIAN.....	19
3.1 Waktu dan Tempat	19
3.2 Bahan dan Alat.....	20
3.3 Metode Penelitian	20
3.4 Prosedur Penelitian	21
3.5 Pengolahan Data	21
3.6 Analisis Data.....	26
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Analisis Perubahan Tutupan Lahan di Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada	30
4.1.1 Tutupan Lahan Tahun 2003-2006.....	31
4.1.2 Tutupan Lahan Tahun 2006-2009.....	33

4.1.3 Tutupan Lahan Tahun 2009-2012.....	36
4.1.4 Tutupan Lahan Tahun 2012-2015.....	38
4.1.5 Tutupan Lahan Tahun 2015-2018.....	41
4.1.6 Tutupan Lahan Tahun 2018-2021.....	43
4.1.7 Tutupan Lahan Tahun 2021-2024.....	46
4.2 <i>Ground Check</i>	49
4.3 Dinamika Stok Karbon 2003-2024 di Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada	56
4.4 Perhitungan Emisi CO ₂ Akibat Perubahan Tutupan Lahan di Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada Tahun 2003-2024	61
V. SIMPULAN DAN SARAN	65
5.1 Simpulan	65
5.2 Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	67

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Luas Desa yang ada di Kecamatan Punduh Pidada	6
2. Luas Desa yang ada di Kecamatan Marga Punduh	7
3. Kelas penutupan lahan	9
4. Bahan yang digunakan dalam penelitian.....	20
5. Alat yang digunakan dalam penelitian	20
6. Nilai stok karbon tiap tutupan lahan	27
7. Perubahan tutupan lahan tahun 2003-2006	31
8. Matriks perubahan tutupan lahan tahun 2003-2006.....	31
9. Perubahan tutupan lahan tahun 2006-2009	33
10. Matriks perubahan tutupan lahan tahun 2006-2009.....	34
11. Perubahan tutupan lahan tahun 2009-2012	36
12. Matriks perubahan tutupan lahan tahun 2009-2012.....	36
13. Perubahan tutupan lahan tahun 2012-2015	38
14. Matriks perubahan tutupan lahan tahun 2012-2015.....	39
15. Perubahan tutupan lahan tahun 2015-2018	41
16. Matriks perubahan tutupan lahan tahun 2015-2018.....	41
17. Perubahan tutupan lahan tahun 2018-2021	43
18. Matriks perubahan tutupan lahan tahun 2018-2021	44
19. Perubahan tutupan lahan tahun 2021-2024	46
20. Matriks perubahan tutupan lahan tahun 2021-2024.....	47
21. Hasil <i>ground check</i> penutupan lahan	50
22. Luasan tutupan lahan tahun 2003-2024	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pikir penelitian.....	5
2. Ilustrasi transisi perubahan tutupan lahan hutan.....	11
3. Peta lokasi penelitian.....	19
4. Pengolahan perubahan tutupan lahan.....	24
5. Pengolahan stok karbon	25
6. Diagram alir penelitian.....	29
7. Peta tutupan lahan tahun 2003	32
8. Peta perubahan tutupan lahan tahun 2003-2006	32
9. Peta tutupan lahan tahun 2006	34
10. Peta perubahan tutupan lahan tahun 2006-2009	35
11. Peta tutupan lahan tahun 2009	37
12. Peta perubahan tutupan lahan tahun 2009-2012	37
13. Peta tutupan lahan tahun 2012	39
14. Peta perubahan tutupan lahan tahun 2012-2015	40
15. Peta tutupan lahan tahun 2015	42
16. Peta perubahan tutupan lahan tahun 2015-2018	42
17. Peta tutupan lahan tahun 2018	45
18. Peta perubahan tutupan lahan tahun 2018-2021	45
19. Peta tutupan lahan tahun 2021	47
20. Peta perubahan tutupan lahan tahun 2021-2024	48
21. Peta <i>ground check</i> atau titik lokasi survei lapangan kondisi tutupan lahan Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada.....	55
22. Grafik stok karbon berdasarkan perubahan tutupan lahan di Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada 2003-2024.....	56

23. Peta stok karbon tahun 2003-2024 Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada	60
24. Grafik emisi karbon dioksida (CO ₂) Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada Tahun 2003-2024	61
25. Peta penambahan emisi CO ₂ di Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada Tahun 2003-2024	63

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tutupan lahan didefinisikan sebagai tutupan biofisik pada permukaan bumi yang dapat diamati sebagai hasil pengaturan, aktivitas, dan perlakuan manusia yang dilakukan pada jenis tutupan lahan tertentu untuk melakukan kegiatan produksi, perubahan, ataupun perawatan pada tutupan lahan tersebut (SNI 7645-1: 2020 Tentang Klasifikasi Tutupan Lahan). Beberapa tutupan lahan yang memiliki faktor emisi tinggi sangat berperan penting dalam penyimpanan karbon. Stok karbon yang tersimpan dalam ekosistem, seperti hutan mangrove, lahan basah dan lahan pertanian berperan penting dalam mengatur siklus karbon global (Irfan et al., 2021). Pemeliharaan stok karbon sangat penting untuk mitigasi perubahan iklim, karena ekosistem yang sehat dapat menyerap karbon dioksida (CO_2) dari atmosfer. Menurut Sudibya et al. (2022) pengelolaan yang baik terhadap penggunaan lahan dapat meningkatkan kapasitas penyimpanan karbon dan mengurangi emisi CO_2 . Proses sekuestrasi karbon, atau penimbunan karbon (C) dalam tubuh tumbuhan hidup, dapat dilakukan pada lahan yang ditutupi oleh tumbuhan hidup. Oleh karena itu, mengukur jumlah karbon yang tersimpan di dalam tubuh tumbuhan hidup (biomassa) pada suatu penutupan lahan dapat menunjukkan jumlah CO_2 yang terserap oleh tumbuhan di atmosfer (Maryadi et al., 2019).

Perubahan tutupan lahan dipandang sebagai fenomena global yang memiliki dampak langsung dan tidak langsung yang signifikan terhadap lingkungan. Meningkatnya kepadatan penduduk dan beragamnya aktivitas di suatu wilayah cenderung mengakibatkan perubahan tutupan lahan (Pratiwi et al., 2024). Fenomena ini memiliki dampak signifikan terhadap lingkungan seperti hilangnya keanekaragaman hayati, penurunan kualitas tanah, dan meningkatnya emisi gas rumah kaca (GRK) atau dikenal juga sebagai pemanasan global, terutama hasil karbon dioksida. Menurut Ridwan & Sarjito, (2024), perubahan tutupan lahan dapat

mengganggu keseimbangan ekosistem, memengaruhi siklus hidrologi, dan meningkatkan risiko bencana alam seperti banjir, tanah longsor, dan kebakaran hutan. Oleh karena itu, perlu adanya upaya untuk mengelola tutupan lahan dengan menjaga dan melestarikan ekosistem alamiah untuk mencapai pembangunan yang berkelanjutan.

Aktivitas manusia yang memanfaatkan sumber daya alam untuk pertanian, pembangunan infrastruktur berujung pada terjadinya degradasi lingkungan. Pada wilayah pesisir, sering terjadi degradasi hutan mangrove yang merupakan proses penurunan kuantitas dan kualitas hutan mangrove dari mangrove primer ke mangrove sekunder. Demikian juga deforestasi mangrove yang merupakan perubahan secara permanen dari areal hutan mangrove menjadi non mangrove yang dilakukan secara sengaja oleh aktivitas manusia (Dewi et al., 2023). Menurut Gufron et al. (2024) Indonesia mengalami hilangnya mangrove yang sangat signifikan, dengan lebih dari 50% luas mangrove hilang selama 30 tahun terakhir. Data ini menjadikan Indonesia memiliki laju kerusakan mangrove tercepat di dunia. Hampir 13.000 ha mangrove hilang setiap tahunnya dalam 20 tahun terakhir. Salah satu wilayah yang banyak mengalami perubahan adalah wilayah Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada Kabupaten Pesawaran.

Fenomena perubahan tutupan lahan juga dapat dilihat di wilayah Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada Kabupaten Pesawaran. Tutupan lahan tersebut telah mengalami perubahan dengan tujuan untuk meningkatkan kebutuhan dalam menunjang kegiatan ekonomi, salah satunya komoditas perikanan yang bersumber dari kegiatan budidaya. Hal tersebut menjadi salah satu faktor yang memicu kerusakan hutan di wilayah ini. Hal ini berdasarkan studi pendahuluan pada penelitian Dwiputra et al. (2020) menunjukkan perubahan kondisi penutupan lahan yang diperoleh dari hasil penafsiran citra satelit Landsat perekaman 30 tahun mulai dari tahun 1989 hingga tahun 2019. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa beberapa lokasi telah mengalami penurunan luasan yang sangat signifikan yaitu sebanyak 83,34 ha dengan rata-rata kerusakan sebesar 30,5%. Perubahan penutupan lahan di wilayah ini yang dahulu merupakan area hutan mangrove kini berubah menjadi tambak udang. Kawasan hutan di Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada memiliki potensi yang besar untuk menyimpan karbon. Namun,

dengan adanya ancaman terhadap ekosistem, seperti deforestasi dan degradasi lahan mengurangi kemampuan dalam menyerap karbon (Wahyuni & Suranto, 2021).

Akibat perubahan tutupan lahan yang terjadi di Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada berdampak langsung pada dinamika stok karbon dan emisi CO₂. Deforestasi dan degradasi hutan yang terjadi, selain berdampak secara langsung juga dapat memberikan kontribusi terhadap peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK), yang memiliki dampak langsung pada perubahan iklim khususnya pemanasan global (Pratiwi et al., 2024). Peningkatan emisi CO₂ ke atmosfer menyebabkan pembentukan lapisan kedap panas, yang pada gilirannya meningkatkan suhu permukaan bumi secara signifikan dan menghambat dispersi panas ke atmosfer. Dampak peningkatan suhu permukaan bumi tersebut dapat menyebabkan gangguan iklim secara global (Manurung et al., 2022). Selain itu, perubahan tutupan lahan yang memiliki cadangan karbon tinggi ke cadangan karbon rendah dapat mengurangi kemampuan ekosistem untuk menyerap karbon (Samae et al., 2021).

Berdasarkan permasalahan yang terjadi, penelitian ini penting untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai dampak perubahan tutupan lahan terhadap stok karbon dan emisi CO₂. Selain itu, penelitian ini juga sangat penting dilakukan sebagai penyedia informasi tentang dinamika stok karbon dan emisi CO₂ yang memiliki kegunaan sebagai upaya mitigasi perubahan iklim yang terjadi di Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada. Menurut Junarto, (2023) upaya mitigasi perubahan iklim harus melibatkan pengelolaan lahan yang berkelanjutan untuk mencapai target pengurangan emisi gas rumah kaca. Maka dari itu penelitian ini memiliki beberapa tujuan, yaitu; memetakan perubahan tutupan lahan, membandingkan stok karbon, dan memperkirakan emisi CO₂ akibat perubahan tutupan lahan yang terjadi. Diharapkan seluruh informasi tentang kondisi stok karbon dan nilai emisi CO₂ yang timbul akibat perubahan tutupan lahan dapat memberikan data referensi dalam merancang kebijakan mitigasi perubahan iklim yang lebih efektif.

1.2 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memetakan perubahan tutupan lahan di Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada Kabupaten Pesawaran.
2. Memetakan perubahan stok karbon selama 22 tahun terakhir (2003 dan 2024) di Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada Kabupaten Pesawaran.
3. Menghitung dan memetakan emisi CO₂ selama 22 tahun terakhir (2003 dan 2024) di Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada Kabupaten Pesawaran.

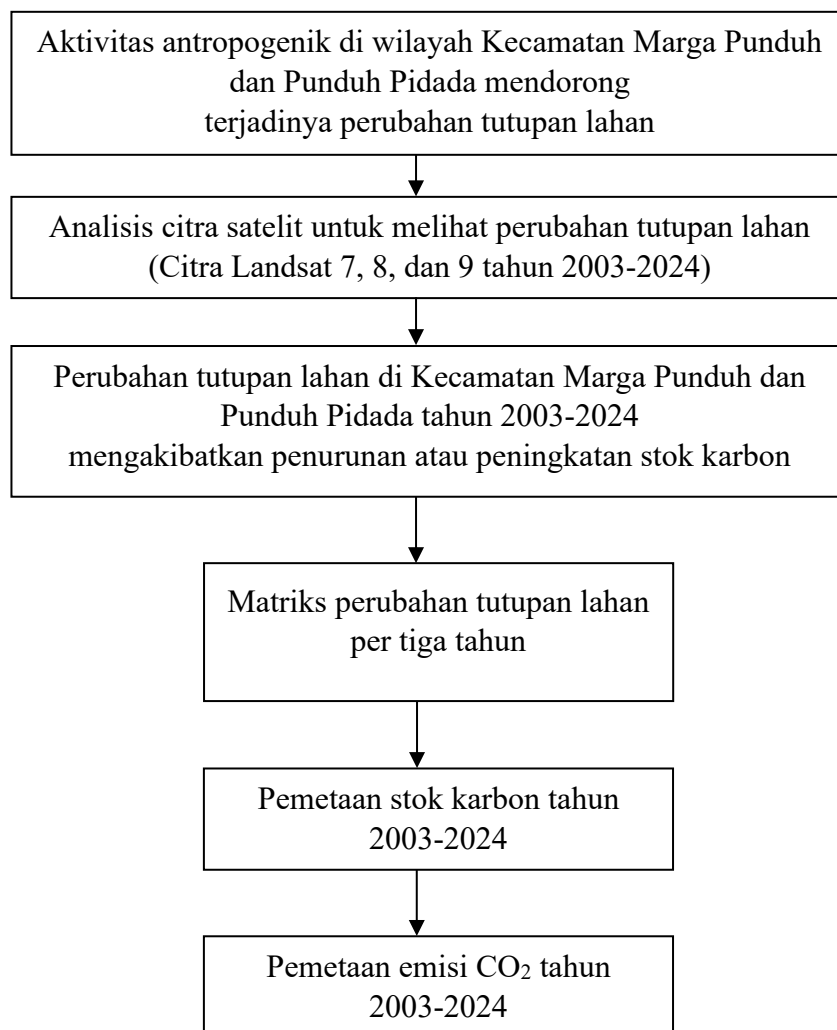
1.3 Manfaat

Manfaat penelitian ini adalah dapat digunakan sebagai informasi ilmiah dan tersedianya data dinamika perubahan tutupan lahan di wilayah Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada. Selain itu, penelitian ini juga sebagai bahan masukan dan saran bagi pihak terkait agar lebih memperhatikan terkait kondisi stok karbon dan nilai emisi CO₂ yang timbul akibat perubahan tutupan lahan di Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung.

1.4 Kerangka Pikir

Perubahan tutupan lahan yang terjadi di wilayah Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada disebabkan oleh aktivitas deforestasi. Perubahan tutupan lahan yang terjadi dari tahun ke tahun dapat menyebabkan terjadinya perubahan stok karbon dan peningkatan emisi CO₂. Perhitungan stok karbon dan emisi CO₂ akibat perubahan tutupan lahan dapat dianalisis dengan pendekatan pemetaan spasial menggunakan citra satelit (Fadhli et al., 2021). Teknologi citra satelit yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan pantulan gelombang elektromagnetik yang ditangkap oleh sensor satelit untuk mengidentifikasi sifat fisik objek. Istilah penginderaan jauh mengacu pada pengamatan fisik di permukaan bumi melalui gambar satelit.

Citra yang digunakan pada penelitian yaitu citra Landsat. Penggunaan citra Landsat ini mulai dari citra Landsat 7 ETM+ untuk tahun 2003, 2006, 2009, dan 2012, citra Landsat 8 untuk tahun 2015, 2018, dan 2021 dan citra Landsat 9 untuk tahun 2024. Kemudian dilakukan analisis perubahan tutupan lahan untuk mengetahui terjadinya perubahan stok karbon pada wilayah ini dalam kurun waktu 22 tahun dengan rentang per tiga tahun. Perubahan tutupan lahan ditimbulkan akibat degradasi dan deforestasi yang menyebabkan timbulnya emisi CO₂ (Gambar 1).



Gambar 1. Kerangka pikir penelitian

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Wilayah Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada

Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada merupakan salah satu kecamatan yang berada di wilayah pesisir di Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung yang terletak pada koordinat $104,92^{\circ}$ sampai dengan $105,34^{\circ}$ Bujur Timur, dan $5,12^{\circ}$ sampai dengan $5,84^{\circ}$ Lintang Selatan. Luas wilayah Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada adalah $220,52 \text{ km}^2$. Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada berbatasan dengan Kecamatan Padang Cermin di sebelah utara, berbatasan dengan Selat Sunda di sebelah selatan, berbatasan dengan Teluk Lampung di sebelah timur dan sebelah barat berbatasan dengan Kabupaten Tanggamus. Secara administratif Kecamatan Punduh Pidada terbagi kedalam 11 desa dan Kecamatan Marga Punduh 10 desa. Menurut data yang diambil dari BPS Kabupaten Pesawaran, (2024) luas setiap desa atau kelurahan yang ada di dua kecamatan tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Luas Desa yang ada di Kecamatan Punduh Pidada

No	Nama Desa	Luas (km^2)
1	Banding Agung	10
2	Bangun Rejo	7,50
3	Batu Raja	9
4	Bawang	6,43
5	Kota Jawa	13
6	Pagar Jaya	12
7	Sukamaju	9
8	Pulau Legundi	14,26
9	Sukarame	11
10	Rusaba	12
11	Sukajaya Pidada	9
Total		113,19 km^2

Sumber : BPS Kabupaten Pesawaran, 2024

Tabel 2. Luas Desa yang ada di Kecamatan Marga Punduh

No	Nama Desa	Luas (km ²)
1	Kampung Baru	10
2	Kekatang	12
3	Pekon Ampai	9
4	Kunyaian	9,33
5	Umbul Limus	6
6	Tajur	15
7	Penyandingan	12
8	Maja	13
9	Sukajaya Punduh	11
10	Pulau Pahawang	11
	Total	107,33 km ²

Sumber : BPS Kabupaten Pesawaran, 2024

Kondisi fisik wilayah Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada terdiri dari formasi batuan gunung api yang mendominasi wilayah tersebut. Wilayah penelitian ini juga memiliki beberapa jenis tanah, termasuk regosol yang mengalami perkembangan dan berkembang dari bahan endapan pasir. Kondisi fisik wilayah Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada memiliki ketinggian lahan yang relatif rendah, dengan kemiringan tanah yang sebagian besar berada di kelas 0-8 meter. Kecamatan ini memiliki potensi pergerakan tanah yang relatif rendah dan stabil dalam mengantisipasi pergeseran tanah akibat longsor maupun bencana lainnya (Dwiputra et al., 2020).

2.2 Konsep Perubahan Tutupan Lahan

2.2.1 Definisi dan Klasifikasi Tutupan Lahan

Menurut SNI 7645-1:2020 Tentang Klasifikasi Tutupan Lahan, tutupan lahan adalah tutupan biofisik pada permukaan bumi yang dapat dilihat akibat dari pengaturan, aktivitas, dan perlakuan manusia pada jenis penutup lahan tertentu untuk melakukan produksi, perubahan, atau perawatan pada tutupan lahan tersebut. Menurut Sampurno & Thoriq (2016) tutupan lahan merupakan suatu bentuk fisik yang dapat dilihat di permukaan bumi dan dapat menunjukkan bagaimana proses alam dan sosial berinteraksi. Istilah tutupan lahan (*land cover*) seringkali dikaitkan dengan penggunaan lahan (*land use*). Juniyanti et al. (2020) juga mendefinisikan istilah tutupan lahan sebagai atribut-atribut biofisik dari permukaan

bumi, sementara penggunaan lahan didefinisikan sebagai pemanfaatan manusia terhadap atribut-atribut biofisik tersebut. Tutupan lahan memengaruhi proses-proses tersebut melalui mekanisme timbal balik, misalnya pada respirasi tumbuhan, dimana tumbuhan dapat menyerap dan melepaskan karbon, air, oksigen, dan elemen-elemen biokimia dari atau ke lingkungan.

Klasifikasi tutupan lahan adalah proses menempatkan berbagai jenis tutupan lahan ke dalam kelompok berdasarkan karakteristik yang sama atau hubungan antara karakteristik tersebut (Danoedoro et al., 2020). Kelas tutupan lahan berdasarkan Peraturan Direktur Jenderal Planologi Kehutanan No P.1/VII IPSDH/2015 Tentang Pedoman Pemantauan Penutupan Lahan terbagi menjadi 23 klasifikasi kelas, dengan 7 kelas penutupan lahan berupa hutan dan 16 kelas penutupan lahan non hutan.

Klasifikasi tutupan lahan terdiri dari tiga jenis skala yaitu 1:1.000.000, 1:250.000, 1:50.000, dan 1:25.000. Semakin besar skala peta yang digunakan untuk mengklasifikasikan tutupan lahan, semakin spesifik kelas tutupan lahan (SNI 7645-1:2020 Tentang Klasifikasi Tutupan Lahan). Untuk menganalisis tutupan lahan dapat menggunakan skala peta yang lebih besar untuk mengetahui tutupan lahan yang lebih spesifik dan akurat, terutama dalam konteks wilayah kecamatan. Dalam penelitian ini, klasifikasi tutupan lahan disesuaikan dengan tutupan lahan di Marga Punduh dan Punduh Pidada. Sehingga penelitian ini dalam mengklasifikasikan penutupan lahan yang digunakan adalah berdasarkan Peraturan Direktur Jenderal Planologi Kehutanan No P.1/VII-IPSDH/2015 Tentang Pedoman Pemantauan Penutupan Lahan, dengan meringkas 23 kelas menjadi 11 kelas. Alasan 11 kelas tutupan lahan ini menyesuaikan dengan kondisi penutupan lahan yang ada di wilayah penelitian dengan skala 1:250.000.

Tabel 3. Kelas penutupan lahan

No	Kelas	Keterangan
1	Hutan mangrove sekunder	Hutan tropis alami yang tumbuh di habitat basah berbentuk rawa, termasuk rawa payau, rawa gambut, dan rawa gambut yang menunjukkan adanya aktivitas penebangan oleh manusia.
2	Hutan lahan kering sekunder	Hutan tropis alami tumbuh di habitat non-basah termasuk hutan dataran rendah, dataran tinggi, dan pegunungan yang menunjukkan tanda-tanda aktivitas penebangan oleh manusia.
3	Semak belukar	Seluruh penampilan wilayah terdiri dari vegetasi rendah di lahan kering.
4	Semak belukar rawa	Kawasan ini sebagian besar terdiri dari vegetasi rendah dan terletak di daerah tergenang air tawar dan di belakang hutan payau.
5	Pertanian lahan kering campur	Seluruh jenis pertanian lahan kering yang terdiri dari pertanian, perkebunan, semak, dan belukar.
6	Pertanian lahan kering	Seluruh kenampakan hasil budidaya tanaman semusim di lahan kering seperti tegalan dan ladang.
7	Permukiman	Kawasan permukiman, baik perkotaan, perdesaan, industri, dan lain-lain yang memperlihatkan alur rapat.
8	Lahan terbuka	semua bentuk tanah terbuka yang tidak memiliki vegetasi, baik yang terjadi secara alami maupun karena tindakan manusia.
9	Sawah	Setiap kegiatan pertanian yang dilakukan di lahan basah yang ditunjukkan oleh pola pematang.
10	Tubuh air	Semua kenampakan perairan, termasuk laut, sungai dan danau.
11	Tambak	Semua bentuk perikanan darat, seperti ikan atau udang, atau penggaraman yang tampak dengan pola pematang, biasanya berada di sekitar laut.

Sumber : Peraturan Direktur Jenderal Planologi Kehutanan No P.1/VII-IPSDH/2015 Tentang Pedoman Pemantauan Penutupan Lahan

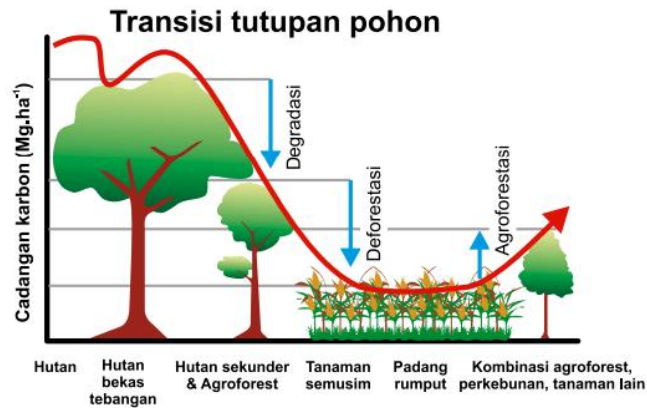
2.2.2 Perubahan Tutupan Lahan

Perubahan tutupan lahan menurut Juniyantri et al. (2020) menjelaskan bahwa perubahan kuantitatif pada jenis atau luas tutupan lahan tertentu dapat meningkat atau menurun pada tingkat yang mendasar. Selain itu menurut Rusmawan, (2017) perubahan tutupan lahan merupakan keseluruhan bentuk aktivitas manusia terhadap lahan yang digunakan dari materil dan spiritual manusia. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa perubahan tutupan lahan dapat berdampak pada lingkungan biofisik dan sosial ekonomi.

Berdasarkan penelitian Leliana et al. (2024) menjelaskan bahwa perubahan tutupan lahan pada wilayah tertentu dapat berubah-ubah karena adanya sebuah aktivitas dan upaya manusia dalam pemanfaatan hasil potensi alam masyarakat. Dengan demikian, perubahan tutupan lahan adalah hasil dari upaya manusia untuk menggunakan lahan yang terbatas untuk memenuhi kebutuhan. Menurut Ekadinata et al. (2012) mengemukakan bahwa perubahan tutupan lahan hutan dapat dijelaskan melalui sebuah pola umum (Gambar 2) atau yang dikenal juga sebagai proses transisi hutan. Pola transisi ini dijelaskan melalui empat tahapan sebagai berikut.

1. Tahap pertama berupa *core forest*, dimana tingkat deforestasi yang terjadi sangat rendah, sehingga sumber daya hutan masih belum terganggu. Seiring waktu, perubahan ekonomi dan pembangunan infrastruktur, termasuk pembuatan jalan baru dan perbaikan kualitas jalan, mulai meningkatkan akses masyarakat ke kawasan hutan, baik sebagai lahan tempat tinggal maupun penggunaan lain terkait ekonomi;
2. Tahap kedua berupa *frontier forest*, dimana laju eksploitasi hutan dan peningkatan deforestasi menjadi penanda pada tahapan ini. Perubahan tutupan lahan hutan menjadi tutupan lahan terbangun dan pertanian cenderung meningkat hingga pada titik terendah dari ketersediaan sumberdaya hutan. Bertolak dari kondisi ini, mulai terdapat kebijakan-kebijakan berkaitan dengan reforestasi;
3. Tahap ketiga berupa *forest agricultural mosaics*, dimana angka laju deforestasi semakin melambat karena kelangkaan sumber daya hutan sekaligus penerapan kebijakan reforestasi. Pada tahapan ini juga ditandai dengan intensifikasi pertanian, sehingga pembukaan lahan hutan dapat ditekan dan dikurangi; dan

4. Tahap empat berupa reforestasi, dimana kebijakan reforestasi mulai digalakan pada tahapan ini, berupa penanaman pohon dan penerapan pengelolaan sumber daya hutan berkelanjutan. Semua kebijakan mengarah kepada percepatan laju reforestasi diterapkan demi pemulihan kondisi hutan.



Gambar 2. Ilustrasi transisi perubahan tutupan lahan hutan
Sumber : Ekadinata et al., 2012

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. Dalam era modern ini, tekanan terhadap sumber daya alam semakin meningkat, baik akibat pertumbuhan populasi yang pesat maupun perubahan iklim yang ekstrem. Faktor-faktor alamiah seperti bencana alam dan perubahan iklim, berkontribusi pada dinamika tutupan lahan (Juniyanti et al., 2020). Sementara faktor penyebab perubahan tutupan lahan terjadi akibat aktivitas manusia seperti urbanisasi, pertanian, dan deforestasi sehingga mempercepat konversi lahan dan mengubah ekosistem secara signifikan (Pratiwi et al., 2024). Memahami kedua kategori faktor ini sangat penting untuk merumuskan kebijakan pengelolaan lahan yang berkelanjutan dan untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Dalam wilayah penelitian di Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada berfokus pada penyebab aktivitas antropogenik yaitu:

1. Degradasi

Degradasi lahan adalah proses di mana kondisi lingkungan biofisik suatu lahan berubah akibat aktivitas manusia. Perubahan ini cenderung merusak dan ti-

dak diinginkan (Ambarwulan et al., 2021). Bencana alam seperti banjir, longsor, dan kebakaran hutan, meskipun tidak langsung disebabkan oleh aktivitas manusia, dapat dianggap sebagai hasil dari degradasi lahan karena aktivitas manusia yang menyebabkannya. 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. Penyebab degradasi lahan antara lain yaitu kebakaran antropogenik atau yang disebabkan oleh manusia, penebangan atau pembukaan lahan yang diikuti dengan regenerasi alami, tebang pilih di hutan sekunder dengan teknik tradisional, konversi lahan hutan alam menjadi hutan tanaman, atau terdeteksi adanya gangguan hutan pada suatu kawasan tetapi lahannya masih memenuhi standar minimal lahan hutan (Haya et al., 2016).

2. Deforestasi

Istilah deforestasi berarti hilangnya areal hutan secara permanen atau sementara (Dewi et al., 2023). 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 Dewi et al. (2023) 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 non hutan 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, permukiman, lahan basah dan lahan lainnya.

2.2.4 Dampak Perubahan Tutupan Lahan

Perubahan tutupan lahan adalah dinamika yang terjadi akibat fenomena alam dan aktivitas manusia, yang menyebabkan peralihan bentuk dan fungsi lahan dari waktu ke waktu (Fardilla et al., 2023). Perubahan ini mencakup penambahan, pengurangan, atau konversi dari suatu jenis tutupan lahan. Aktivitas manusia cenderung menjadi penyebab utama perubahan lahan dibandingkan dengan faktor ala-

miah. Transformasi tutupan lahan di kawasan hutan dapat menyebabkan pengurangan nilai stok karbon dan meningkatkan emisi CO₂. Menurut Ridwan & Sarjito (2024) berikut beberapa dampak dari perubahan tutupan lahan.

1. Penurunan area resapan air

Deforestasi mengurangi kapasitas tanah dalam menyerap air hujan. Hutan memiliki kemampuan dalam menyerap dan menahan air, yang kemudian dilepaskan secara bertahap. Penggantian hutan dengan lahan pertanian atau perkebunan mengurangi kapasitas ini secara drastis;

2. Peningkatan suhu permukaan tanah

Berkurangnya lahan vegetasi dan bertambahnya lahan terbuka dan lahan terbangun menyebabkan perubahan sifat fisik permukaan tanah, berimplikasi pada peningkatan suhu permukaan;

3. Peningkatan risiko banjir

Konversi hutan menjadi lahan perkebunan meningkatkan risiko banjir akibat penurunan kapasitas retensi air tanah dan peningkatan aliran permukaan. Alih fungsi lahan dari vegetasi alami menjadi lahan *impermeable* meningkatkan aliran permukaan dan frekuensi banjir;

4. Perubahan debit puncak

Perubahan tutupan lahan dapat memengaruhi tingkat infiltrasi ke dalam tanah. Lahan pertanian atau hutan yang diubah menjadi kawasan terbangun atau non pertanian dapat mengurangi kemampuan infiltrasi tanah, menyebabkan erosi dan peningkatan aliran permukaan, yang berdampak pada terjadinya banjir;

5. Kualitas DAS menurun

Perubahan penutupan lahan menjadi salah satu bagian penting dalam menentukan penilaian kualitas Daerah Aliran Sungai (DAS).

2.2.5 Studi Perubahan Tutupan Lahan di Indonesia

Studi terdahulu tentang perubahan tutupan lahan di Indonesia telah banyak dilakukan. Beberapa penelitian terkait tutupan lahan beserta perubahannya yang menjadi rujukan dalam penelitian ini. Penelitian mengenai tutupan lahan sebelumnya pernah dilakukan oleh Pratiwi et al. (2024) dengan judul “Perubahan Tutupan Lahan, Degradasi, dan Deforestasi Hutan di Kabupaten Nabire Periode 2000-

2019". Penelitian tersebut bertujuan untuk menganalisis perubahan penggunaan lahan, deforestasi, dan degradasi hutan selama periode 2000 hingga 2019, serta untuk memahami dampak perubahan tersebut terhadap ekosistem lokal dan lingkungan. Hasil penelitian menunjukkan adanya tren signifikan dalam perubahan tutupan lahan, dimana hutan lahan kering primer mengalami penurunan luas yang drastis, sementara lahan belukar dan perkebunan mengalami peningkatan. Deforestasi dan degradasi hutan teridentifikasi sebagai masalah utama, dengan luas degradasi mencapai 178.684,92 ha pada periode 2000-2009 dan menurun menjadi 55.529,03 ha pada periode 2009-2019. Penelitian ini menekankan perlunya upaya konservasi dan pengelolaan hutan yang berkelanjutan untuk mengurangi dampak negatif terhadap ekosistem hutan di Kabupaten Nabire.

Selain itu, penelitian tentang perubahan tutupan lahan di Indonesia dilakukan oleh Juniyantri et al. (2020) dengan judul penelitian "Perubahan penggunaan dan tutupan lahan, serta faktor penyebabnya di Pulau Bengkalis, Provinsi Riau (periode 1990-2019)". Penelitian ini berfokus pada analisis perubahan tutupan lahan di Pulau Bengkalis, Indonesia, selama periode 1990 hingga 2019, dengan tujuan untuk menggambarkan pola perubahan dan mengidentifikasi faktor-faktor penyebabnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa antara tahun 1990 hingga 2000, terjadi penurunan signifikan dalam tutupan hutan akibat pembukaan lahan untuk perkebunan oleh transmigran. Pada periode 2000 hingga 2010, desentralisasi menjadi pendorong utama pertumbuhan perkebunan kelapa sawit. Namun, pada periode 2010 hingga 2019, laju deforestasi mulai menurun karena sisa tutupan hutan yang tersisa kurang dari 10% dari total luas Pulau Bengkalis. Penelitian ini juga menemukan bahwa konflik tenurial dan kebakaran lahan merupakan faktor penting yang memengaruhi perubahan penggunaan lahan di wilayah tersebut. Dengan menggunakan analisis spasial dan data penginderaan jauh, penelitian ini memberikan wawasan yang berharga untuk pengelolaan sumber daya alam dan mitigasi perubahan iklim di Pulau Bengkalis.

Penelitian mengenai estimasi dan analisis karbon terhadap tutupan lahan, dalam hal ini lebih fokus pada penyerapan karbon, dilakukan oleh Permata & Rahayu (2021) dengan judul penelitian "Estimasi Cadangan Karbon Akibat Perubahan Tutupan Lahan di Kabupaten Kendal". Wilayah penelitian ini dilakukan di

Kabupaten Kendal, yang memiliki luas wilayah 1.005,86 km² dan mengalami perubahan tutupan lahan yang signifikan dalam periode 2008 hingga 2018. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengestimasi berkurangnya cadangan karbon akibat perubahan tutupan lahan di Kabupaten Kendal, serta untuk memberikan informasi yang berguna bagi pemangku kepentingan dan pembuat kebijakan dalam merencanakan mitigasi emisi gas rumah kaca berbasis lahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa selama periode 2008-2018, terjadi penurunan total cadangan karbon di Kabupaten Kendal sebesar -5.755.273,80 ton C. Penurunan ini disebabkan oleh konversi lahan dari tutupan hutan yang memiliki cadangan karbon tinggi menjadi lahan pertanian dan permukiman yang memiliki cadangan karbon lebih rendah. Penelitian ini menekankan pentingnya pengelolaan tutupan lahan untuk menjaga cadangan karbon dan mengurangi emisi gas rumah kaca.

2.3 Stok Karbon

Secara umum, stok karbon (*carbon stocks*) adalah jumlah karbon yang tersimpan dalam berbagai komponen ekosistem, seperti tumbuhan, tanah, dan biomassa. Stok karbon ini dapat berubah akibat aktivitas antropogenik, seperti deforestasi, alih fungsi lahan, dan praktik pertanian yang tidak berkelanjutan (Damanik & Amru, 2022). Stok karbon penting untuk dipantau karena berperan dalam siklus karbon, yang mengatur pertukaran karbon melalui proses biogeokimia. Pemantauan stok karbon membantu dalam mengurangi emisi karbon dan mengelola penyimpanan karbon, yang pada gilirannya dapat mengurangi perubahan iklim (Ibrahim & Lukman, 2022).

Selain itu, 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 (CO₂) 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 (Sultan et al., 2020).

Penyerapan karbon oleh tanaman adalah kemampuan tanaman untuk menyerap karbon dioksida melalui stomata yang melimpah di permukaan daun (Suprayitno et al., 2024). Karbon dioksida adalah zat yang digunakan untuk memperoleh energi dan kemudian mengubahnya menjadi gugus gula dan oksigen selama proses fotosintesis. Dalam menentukan massa karbon dioksida yang diserap oleh tanaman dapat diketahui dengan menentukan massa karbohidrat yang dihasilkan selama fotosintesis (Hariandi et al., 2019).

Untuk menghitung stok karbon dari tutupan lahan hutan (termasuk hutan yang terdegradasi dan deforestasi) digunakan data cadangan karbon rata-rata hutan. Untuk tutupan lahan perkebunan dan pertanian dengan siklus penanaman dan panen, secara umum digunakan data cadangan karbon rata-rata waktu, juga dikenal sebagai stok C rata-rata dalam waktu (Agus et al., 2013). Cadangan karbon pada biomassa diatas permukaan tanah yang digunakan di dalam Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN-GRK) untuk tingkat sub nasional (provinsi dan kabupaten) disarankan untuk mengembangkan faktor emisi lokal dengan tingkat ketelitian yang lebih tinggi untuk lebih menggambarkan situasi di provinsi atau kabupaten yang bersangkutan. Selain itu, sangat penting untuk menggunakan tingkat yang lebih tinggi dalam perdagangan karbon yang berbasis hasil penurunan emisi.

2.4 Emisi Karbon Dioksida (CO₂) dari Perubahan Tutupan Lahan

Emisi karbon dioksida didefinisikan sebagai pelepasan gas yang mengandung karbon ke atmosfer. 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. 1 Tahun 2004 Tentang Kehutanan). Hasil emisi dapat berupa gas CO atau gas CO₂ yang dihasilkan secara langsung maupun tidak langsung oleh aktivitas manusia. Emisi karbon dioksida (CO₂) 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 representa-

tif yang berkorelasi dengan jumlah polutan yang dilepaskan ke atmosfer dari aktivitas yang terkait dengan sumbernya (Manurung et al., 2022).

Emisi CO₂ akibat perubahan tutupan lahan menjadi salah satu faktor utama yang berkontribusi pada peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer. Perubahan tutupan lahan dapat terjadi melalui berbagai cara, seperti konversi hutan menjadi lahan pertanian atau penggundulan hutan untuk tujuan lain. Menurut Untajana et al. (2019) hutan bermanfaat sebagai penyerap karbondioksida (CO₂) dan penghasil oksigen (O₂). Ketika hutan ditebang, biomassa yang terkandung dalam pohon rusak atau terurai dan melepaskan gas karbon dioksida (CO₂), yang kemudian akan meningkatkan konsentrasi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer. Contohnya penelitian terdahulu mengenai adanya penambahan emisi CO₂ yaitu penelitian Firyadi et al. (2018) yang menunjukkan hasil adanya penambahan emisi total sebesar 88.745,175 ton CO₂ perubahan lahan dari hutan rawa sekunder gambut, hutan mangrove sekunder, hutan mangrove primer dan hutan rawa sekunder di wilayah Kabupaten Banyuasin Sumatera Selatan.

Dalam beberapa kasus, perubahan tutupan lahan dapat berdampak pada peningkatan emisi CO₂. Penelitian Saharjo & Ary (2024) yang menunjukkan bahwa perubahan tutupan lahan di Kabupaten Muaro Jambi didominasi oleh lahan pertanian kering dan perkebunan kelapa sawit. Emisi yang dihasilkan dari kebakaran hutan dan konversi lahan menjadi pertanian sangat signifikan, dengan total emisi mencapai 615.913,55 ton CO₂ pada tahun 2019. Selain itu, penelitian di Kalimantan Barat juga menunjukkan bahwa alih fungsi lahan gambut dapat meningkatkan emisi CO₂ sebesar 54 ton CO₂ pada kedalaman drainase 60 cm pada kebun sawit. Dalam sintesis, perubahan tutupan lahan dapat berdampak pada peningkatan emisi CO₂, yang pada gilirannya dapat berkontribusi pada perubahan iklim global (Nusantara et al., 2014). Oleh karena itu, perencanaan dan pengelolaan tutupan lahan yang lebih efektif diperlukan untuk mengurangi emisi CO₂ dan menghadapi perubahan iklim.

2.5 Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG)

Dalam pemetaan perubahan tutupan lahan menggunakan hasil dari penginderaan jauh yang selanjutnya disebut citra satelit. Citra satelit penginderaan jauh

diartikan sebagai gambaran kenampakan permukaan bumi dari hasil pemindaian sebuah pengindera atau sensor pada suatu wahana antariksa (satelit) dan dari kombinasi warna merah-hijau-biru (*Red-Green-Blue/RGB*) (SNI 7645-1:2020 Tentang Klasifikasi Tutupan Lahan). Penelitian terdahulu mengenai penggunaan metode penginderaan jauh menggunakan citra satelit dilakukan oleh Leliana et al. (2024). Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi perubahan tutupan lahan di Kecamatan Gambut serta menghitung besar daya serap karbondioksida (CO_2) akibat perubahan tutupan lahan yang terjadi. Penggunaan Sistem Informasi Geografis (SIG) dalam pemetaan dan analisis tutupan lahan memiliki banyak manfaat, termasuk pemantauan perubahan tutupan lahan, perencanaan tata ruang yang lebih baik, dan pengambilan keputusan yang lebih efektif terkait konservasi dan pengelolaan sumber daya alam. SIG juga memungkinkan analisis spasial dan temporal yang akurat, serta visualisasi data yang mudah dipahami.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Agustus hingga Desember 2024. Penelitian ini dimulai dengan melakukan kajian literatur mengenai stok karbon dan emisi CO₂ berdasarkan perubahan tutupan lahan serta klasifikasi tutupan lahan di lokasi penelitian, setelah itu dilakukan pengolahan dan analisis data untuk menghasilkan kesimpulan penelitian. Lokasi penelitian dilakukan di Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada Kabupaten Pesawaran (Gambar 3).



Gambar 3. Peta lokasi penelitian

3.2 Bahan dan alat

Bahan dan alat yang digunakan pada penelitian disajikan pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Bahan yang digunakan dalam penelitian

No	Nama Bahan	Format	Sumber
1	Citra Landsat 7 ETM+ tahun 2003, 2006, 2009, dan 2012	Citra	https://earthexplorer.usgs.gov/
2	Citra Landsat 8 dan 9 tahun 2015, 2018, 2021, dan 2024	Citra	https://earthexplorer.usgs.gov/
3	Peta administrasi Kecamatan Punduh Pidada dan Marga Punduh	Shapefile	tanahair.indonesia.go.id/
4	Data stok karbon per tipe tutupan lahan	Excel	Rusolono et al., (2022)

Tabel 5. Alat yang digunakan dalam penelitian

No	Nama Alat	Kegunaan
1	Laptop	Untuk proses pengolahan data
2	ArcGIS 10.8	Pengolahan data citra
3	Microsoft Excel	Pengolahan data hasil perhitungan
4	Microsoft Word	Penyusunan laporan
5	Avenza Maps	Menentukan titik koordinat ketika melakukan <i>ground check</i>

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif. Menurut Septiani et al. (2022) Metode deskriptif merupakan pendekatan penelitian yang bertujuan untuk menggambarkan fenomena yang terjadi dalam jangka waktu terbatas. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif untuk melihat perubahan tutupan lahan di Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan melakukan analisis pemaksimalan objek melalui pendekatan angka-angka dan pengolahan statistik yang terstruktur serta terkontrol. Hasil analisis perubahan tutupan lahan dibentuk dengan menggunakan perangkat lunak ArcGIS.

3.4 Prosedur Penelitian

Penelitian ini diawali dengan dilakukan pengumpulan data. Data yang digunakan pada penelitian berupa data primer dan data sekunder, sebagai berikut:

a. Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung di lokasi penelitian. Data primer yang digunakan pada penelitian ini yaitu *ground check*. *Ground check* atau survei lapangan dilakukan sebagai validasi klasifikasi tutupan lahan dengan cara mendokumentasikan kondisi *existing* lokasi penelitian. Dokumentasi tersebut digunakan sebagai data pendukung dalam melakukan analisis hasil interpretasi citra satelit dengan kondisi pada lokasi penelitian menggunakan *purposive sampling*. Metode *purposive sampling* digunakan untuk menentukan titik sampling dengan mempertimbangkan aksesibilitas setiap penutupan lahan.

b. Data Sekunder

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

1. Data penginderaan jauh

Data penginderaan jauh yang digunakan adalah data citra satelit Landsat 7 ETM+ (2003, 2006, 2009 dan 2012), Landsat 8 (2015, 2018 dan 2021) serta Landsat 9 untuk tahun 2024. Data tersebut diperoleh melalui <https://earthexplorer.usgs.gov>.

2. Data batas administrasi Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada

Peta tersebut diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) melalui laman <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).

3.5 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 RBI

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 7, 8, dan 9. Citra-citra tersebut merupakan data yang diperlukan untuk melihat perubahan penutupan lahan.

3. *Composite band*

Composite band adalah menggabungkan *band* dari citra satelit Landsat. Untuk proses klasifikasi penutupan lahan dilakukan dengan cara melakukan *composite band* (RGB 742) pada citra Landsat 7 serta untuk citra Landsat 8 dan 9 dengan *composite band* (RGB 753). Proses tersebut menggunakan perangkat lunak ArcGIS (Permata & Rahayu, 2021).

4. Koreksi radiometrik dan atmosferik

Dalam penelitian ini koreksi radiometrik dan atmosferik tidak dilakukan, namun kebutuhan data citra diperoleh dari citra Landsat *collection 2 level 2* melalui laman <https://earthexplorer.usgs.gov>.

5. Koreksi geometrik

Memposisikan gambar sehingga cocok dengan koordinat peta dunia sebenarnya disebut koreksi geometrik. Karena perubahan posisi dan ketinggian sensor, posisi geografis gambar pada saat pengambilan data dapat menyebabkan distorsi pada gambar satelit. Perbedaan waktu pembuatan peta dan akuisisi gambar, serta kualitas peta dasar yang buruk, juga dapat menyebabkan distorsi pada gambar satelit. Karena kesalahan geometrik ini, posisi piksel pada gambar satelit tidak sesuai dengan yang sebenarnya. (Lukiawan et al., 2019).

6. Pemotongan citra

Pemotongan citra dilakukan untuk mengurangi ukuran file, mempercepat proses pengolahan citra, dan membatasi area penelitian. Pemotongan citra satelit dilakukan dengan *tool clip* pada perangkat lunak ArcGIS (Permata & Rahayu, 2021).

7. Klasifikasi terbimbing (*supervised classification*)

Metode *supervised classification* (klasifikasi terbimbing) merupakan metode analisis dengan cara menetapkan beberapa *training* atau sampel area (daerah contoh) terlebih dahulu, kemudian pada citra bisa terlihat sebagai kelas lahan tertentu. Metode tersebut dilakukan dengan bantuan referensi, termasuk observasi lapang dan data, dengan tujuan menjamin keakuratan data selama proses digitasi (Permata & Rahayu, 2021).

8. Konversi data raster ke vektor

Konversi data raster ke vektor adalah proses penting dalam analisis tutupan lahan untuk mengubah representasi data spasial dari format raster (*grid*) menjadi format vektor (titik, garis, dan poligon). Untuk mengubah data raster ke poligon diperoleh dari *tools raster to polygon* yang berada di ArcGIS (Permata & Rahayu, 2021).

9. Uji akurasi tutupan lahan

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 objek yang ada pada citra dengan kondisi yang ada di lapangan. Citra yang digunakan dalam uji akurasi ini yaitu citra Landsat 9 tahun 2024 yang diambil pada tanggal akuisisi 17 Oktober 2024. Sementara itu, *Ground check* atau survei lapangan dilakukan oleh peneliti pada tanggal 1 Februari 2025. *Ground check* dilakukan dengan cara mengumpulkan foto sesuai dengan koordinat objek (Permata & Rahayu, 2021). Uji akurasi ini dilakukan pada jenis klasifikasi tutupan lahan yang berada di Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada. Jenis klasifikasi tutupan lahan di wilayah penelitian ini terdiri dari hutan lahan kering sekunder, hutan mangrove sekunder, permukiman, semak belukar, semak belukar rawa, pertanian lahan kering, pertanian lahan kering bercampur semak, sawah, tambak, lahan terbuka, dan tubuh air.

Ground check dilakukan pada titik-titik yang dipilih berdasarkan prinsip keraguan terhadap hasil interpretasi yang dianalisis sebelumnya.

Pelaksanaan setiap bentuk tutupan lahan dilakukan pada beberapa sampel area sesuai homogenitas kenampakannya dan diuji kebenarannya.

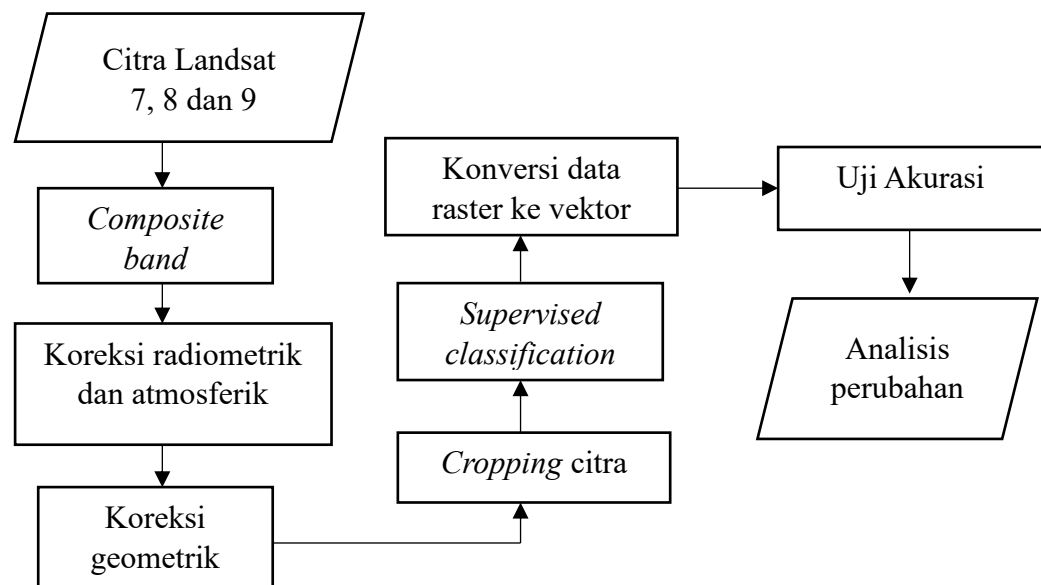
Uji akurasi yang telah dilakukan memiliki target untuk mencapai angka benar minimal 85% (Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar). Kebenaran 85% tersebut dapat diilustrasikan yaitu ketika jumlah seluruh titik yang akan diobservasi sebanyak 22 titik, maka hasil yang didapatkan harus terdapat 20 titik yang sesuai. Hasil akhir dari uji akurasi didapatkan dari hasil perhitungan yang menggunakan persamaan sebagai berikut.

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

10. Analisis perubahan tutupan lahan

Langkah selanjutnya yaitu dilakukan analisis untuk menghitung luasan perubahan tutupan lahan di sekitar kawasan mangrove dari tahun 2003-2024. Perhitungan luasan tutupan lahan dilakukan dengan cara tumpang susun (*overlay*), kemudian dilakukan analisis dengan microsoft excel (Permata & Rahayu, 2021).

Proses pengolahan data perubahan tutupan lahan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengolahan perubahan tutupan lahan

b. Pengolahan Stok Karbon

1. *Input data*

Pengolahan data stok karbon dilakukan dengan memasukkan data peta penutupan lahan yang sudah dianalisis tahun 2003-2024 dan data stok karbon menggunakan perangkat lunak ArcGIS.

2. *Overlay*

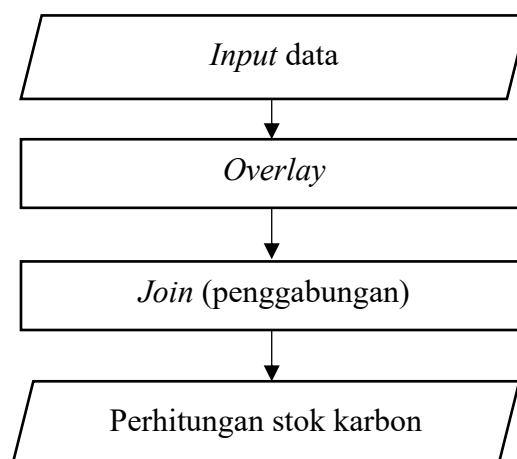
Tumpang susun (*overlay*) yaitu metode yang digunakan untuk menggabungkan tutupan lahan dari tahun 2003-2024 yang dimaksudkan untuk mengidentifikasi perbedaan dalam perubahan penutupan lahan di Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada.

3. *Join* (penggabungan)

Penggabungan adalah proses menggabungkan lapisan tutupan lahan dengan tabel excel data stok faktor emisi yang berbeda untuk setiap kelas tutupan lahan.

4. Perhitungan stok karbon

Untuk menghitung stok karbon dilakukan dengan cara mengalikan luas setiap jenis penutupan lahan dengan angka faktor emisi setiap tutupan lahan. Proses pengolahan stok karbon dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengolahan stok karbon

3.6 Analisis Data

Penelitian ini menggunakan analisis penghitungan stok karbon dan emisi CO₂ yang dilakukan dengan menggunakan analisis spasial. Perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan data tutupan lahan dan faktor emisi untuk setiap jenis penutupan lahan.

a. Penghitungan stok karbon

Perhitungan stok karbon dilakukan dengan mengalikan luas setiap tipe tutupan lahan di Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada pada tahun 2003-2024 dengan angka faktor emisi (ton C/ha). 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 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, hal ini disebabkan karena karakteristik hutan di masing-masing pulau mulai dari diameter, tinggi dan kerapatan pohon itu berbeda.

Namun disisi lain, 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.

$$S_{kt} = L \times \Delta c$$

Keterangan:

S_{kt} = Stok karbon total (ton C)

L = Luas tutupan lahan (ha)

Δc = Faktor emisi per tutupan lahan (ton C/ha)

Tabel 6. Nilai stok karbon tiap tutupan lahan

No	Kode	Penutupan Lahan	AGB (ha)	Faktor Emisi (ton C/ha)
1	2002	Hutan lahan kering sekunder (Sumatera)	221,45	104,08
2	20041	Hutan mangrove sekunder (Sumatera)	118,02	55,46
3	20092	Pertanian lahan kering bercampur semak (Indonesia)	137,52	64,63
4	2007	Semak belukar (Indonesia)	128,49	60,39
5	20071	Semak belukar rawa (Indonesia)	41,15	19,34
6	20091	Pertanian lahan kering (Indonesia)	29,95	14,08
7	20093	Sawah (Indonesia)	21,27	10,00
8	2014	Lahan terbuka (Indonesia)	5,11	2,40
9	2012	Permukiman (Indonesia)	4,61	2,17
10	5001	Tubuh air (Indonesia)	0	0
11	20094	Tambak (Indonesia)	0	0

Sumber: (Rusolono et al., 2022)

b. Penghitungan emisi karbon dioksida (CO₂)

Metode penghitungan emisi CO₂ dihitung dengan menggunakan data penutupan lahan wilayah Kecamatan Punduh Pidada Kabupaten Pesawaran tahun 2003-2023 yang telah ditumpang-susunkan (*overlay*). Penghitungan CO₂ dilakukan dengan metode perkalian data aktivitas tutupan lahan yang mengalami perubahan dari tutupan lahan dengan nilai karbon tinggi ke kandungan karbon yang lebih rendah dengan konstanta 3,67. Konstanta 3,67 didapatkan dengan cara mengonversi 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). Berdasarkan Rusolono et al., (2022) perhitungan emisi CO₂ dapat dilakukan dengan persamaan berikut:

$$E_{LC} = DA \times \Delta c \times CC$$

Keterangan:

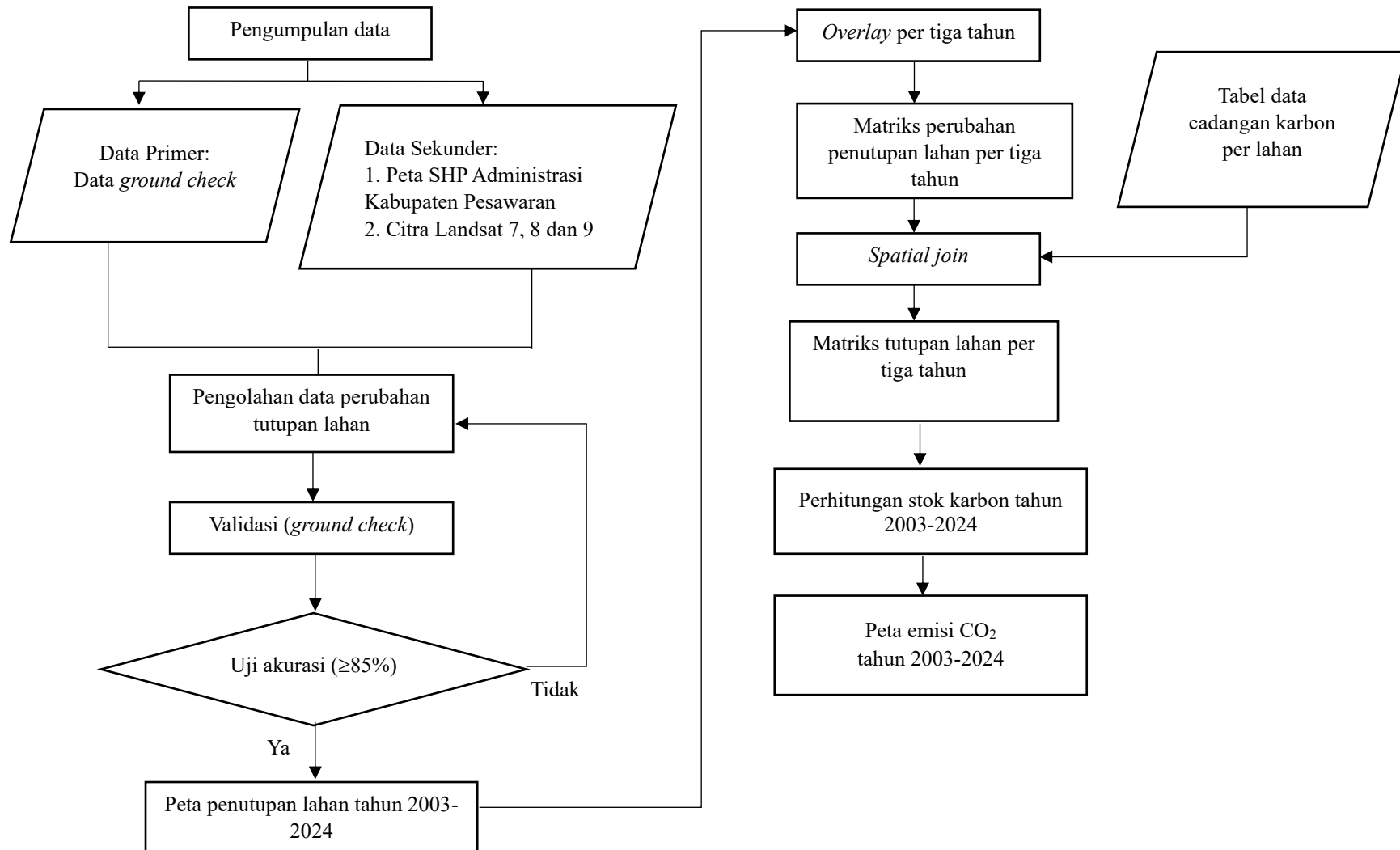
E_{LC} = Emisi dari tutupan lahan (ton CO₂)

DA = Data aktivitas dari perubahan tutupan lahan (ha)

Δc = Faktor emisi per tutupan lahan (ton C/ha)

CC = Faktor konversi rasio berat molekul C ke CO₂ sebesar 3,67 (44/12)

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. Contohnya yang terjadi perubahan luasan hutan mangrove sekunder menjadi lahan tambak. Kedua, jika emisi CO₂ bukan dihasilkan dari deforestasi maka perhitungan selisih atau pengurangan faktor emisi tutupan lahan. Misalkan tutupan lahan yang berubah semak belukar yang memiliki faktor emisi sebesar 60,39 ton C/ha berubah menjadi permukiman yang memiliki faktor emisi sebesar 2,16 ton C/ha maka faktor emisi yang dihitung ke dalam rumus 58,23 ton C/ha kemudian dikalikan dengan konstanta 3,67.



Gambar 6. Diagram alir penelitian

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

1. Tutupan lahan di Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada dari tahun 2003-2024 telah mengalami perubahan yang cukup signifikan. Perubahan tutupan lahan paling dominan terjadi setiap tahun adalah pertanian lahan kering campur yang hampir berubah ke seluruh jenis tutupan lahan yang ada, seperti berubah menjadi lahan permukiman, tambak, sawah dan hutan lahan kering sekunder. Perubahan tutupan lahan paling banyak mengalami perubahan berada di kawasan pesisir pada wilayah kajian.
2. Total nilai cadangan karbon di Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada selama 22 tahun terakhir tahun 2003-2024 mengalami penurunan cadangan karbon sebesar 27.182,50 ton C, penurunan cadangan karbon sebagian besar dipengaruhi oleh aktivitas deforestasi serta adanya perubahan alih fungsi lahan yang memiliki biomassa tinggi menuju biomassa kategori rendah, seperti alih fungsi hutan lahan kering sekunder dan hutan mangrove sekunder berubah menjadi lahan pertanian, permukiman, sawah dan tambak.
3. Hasil perhitungan nilai emisi CO₂ di Kecamatan Marga Punduh dan Punduh Pidada tahun 2003-2024 mengalami perubahan yang berfluktuasi. Wilayah yang mengalami penambahan emisi CO₂ cukup luas berada di kawasan pesisir. Hasil penelitian menunjukkan nilai emisi CO₂ selama 22 tahun terakhir bertambah sebesar 14.959,61 ton CO₂ karena adanya perubahan tutupan lahan di masing-masing wilayah dengan penambahan nilai emisi CO₂ tertinggi terjadi pada tahun 2018-2021 sebesar 62.473,43 ton CO₂.

5.2 Saran

1. Untuk meningkatkan akurasi klasifikasi tutupan lahan, disarankan agar penelitian selanjutnya menambahkan jumlah titik *ground check* dengan distribusi yang lebih merata di seluruh kelas tutupan lahan. Titik-titik tersebut sebaiknya dipilih berdasarkan strategi sampling yang lebih komprehensif.
2. Untuk meningkatkan ketelitian klasifikasi tutupan lahan, disarankan agar penelitian selanjutnya menggunakan citra satelit dengan resolusi spasial yang lebih tinggi, sehingga jenis tutupan lahan dapat teridentifikasi lebih jelas.
3. Untuk penelitian selanjutnya dalam menentukan faktor emisi setiap tutupan lahan agar selalu memperbarui nilai *Above Ground Biomass* (AGB) berdasarkan kondisi terkini yang spesifik untuk masing-masing regional atau pulau. Hal ini penting karena setiap wilayah memiliki karakteristik ekosistem, jenis vegetasi, iklim, serta tekanan penggunaan lahan yang berbeda, yang secara signifikan memengaruhi nilai biomassa dan stok karbon yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, F., Santosa, I., Sonya, D., & Setyanto, P. (2013). *Pedoman teknis penghitungan baseline emisi dan serapan gas rumah kaca sektor berbasis lahan: buku 1 landasan ilmiah*. Badan Perencanaan Pembangunan Nasional, Republik Indonesia, Jakarta.
- Aisyah, B. N., Baskoro, D. P. T., & Murtalaksono, K. (2022). Pendugaan erosi tanah dan perencanaan tutupan lahan hulu DAS Jeneberang, Sulawesi Selatan. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 27(2), 302–310. <https://doi.org/10.18343/jipi.27.2.302>.
- Ambarwulan, W., Nahib, I., Widiatmaka, W., Suryanta, J., Munajati, S. L., Suwarno, Y., Turmudi, T., Darmawan, M., & Sutrisno, D. (2021). Using geographic information systems and the analytical hierarchy process for delineating erosion induced land degradation in the middle Citarum Sub Watershed, Indonesia. *Frontiers in Environmental Science*, 9(2). <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.710570>.
- BPS Kabupaten Pesawaran. (2024). *Kecamatan Punduh Pidada dalam angka 2024*. BPS Pesawaran.
- BPS Kabupaten Pesawaran. (2024). *Kecamatan Marga Punduh dalam angka 2024*. BPS Pesawaran.
- Damanik, M., & Amru, K. (2022). Carbon stocks potential and economic value valuation of carbon stocks in ebony stands. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 12(4), 696–705. <https://doi.org/10.29244/jpsl.12.4.696-705>.
- Danoedoro, P., Ananda, I. N., Kartika, C. S. D., Umela, A. F., & Indayani, A. B. (2020). Testing a detailed classification scheme for land-cover/ land-use mapping of typical Indonesian landscapes: case study of Sarolangun, Jambi and Salatiga, Central Java. *Indonesian Journal of Geography*, 52(3), 327. <https://doi.org/10.22146/ijg.50080>.
- Dewi, R. U. I., Zuhaiery, A., Sa'diyah, N. H., Rizqiya, T. F., & Nurpratiwi, H. (2023). Harmonisasi masyarakat dan pemerintah untuk mengatasi deforestasi di Selatan Tulungagung. *Jurnal Pendidikan Sosial Humaniora*, 2(2), 149–157. <https://doi.org/10.30640/dewantara.v2i2.1029>.

- Dwiputra, M. A., Mustofa, A., & Prasetyo, B. A. (2020). Aplikasi sistem informasi geografis untuk kajian perencanaan rehabilitasi hutan mangrove di Kecamatan Punduh Pedada, Lampung. *Journal of Science and Applicative Technology*, 4(2), 67–74. <https://doi.org/10.35472/jsat.v4i2.256>.
- Ekadinata, A., Zulkarnain, M. van., Widayati, A., Dewi, S., Rahman, S., & Van Noordwijk, M. (2012). Perubahan penggunaan dan tutupan lahan di Indonesia tahun 1990-2000-2005. *World Agroforestry Centre - ICRAF*, 2(2), 1–6. <https://www.cifor-icraf.org/id/pengetahuan/publikasi/10616>.
- Fadhli, R., Sugianto, S., & Syakur, S. (2021). Analisis perubahan penutupan lahan dan potensi karbon di Taman Hutan Raya Pocut Meurah Intan, Aceh Indonesia. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 19(2), 450–458. <https://doi.org/10.14710/jil.19.2.450-458>.
- Fardilla, A., Septiavi, R., Juwita T, R., Arba, R. M., Sefmaliza, R., Fanbudy, A. R., Afdhal, T., Aadrean, A., & Novarino, W. (2023). Analisis perubahan tutupan lahan pada Kota Padang menggunakan citra satelit. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 10(2), 353–367. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2023.010.2.19>.
- Firyadi, F., Widiatmaka, W., Iswati, A., Muhamad, A., & Mulyanto, B. (2018). Neraca karbon, emisi dan serapan historis CO₂ karena perubahan penggunaan lahan di Kabupaten Banyuasin, Sumatera Selatan. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 8(2), 178–187. <https://doi.org/10.29244/jpsl.8.2.178-187>.
- Gufron, A., Asbar, A., & Danial, D. (2024). Analisis tingkat kerusakan ekosistem mangrove akibat aktivitas masyarakat kawasan Pesisir Karang-Karangan Kecamatan Bua Kabupaten Luwu. *Jurnal Ilmiah Wahana Laut Lestari*, 2(1), 53–62. <https://doi.org/10.33096/jiwall.v2i1.481>.
- Hariandi, D., Indradewa, D., & Yudono, P. (2019). Pengaruh gulma terhadap komponen fisiologi beberapa kultivar kedelai. *Jurnal Agroekoteknologi*, 11(1), 1–11. <https://doi.org/10.33512/jur.agroekotek.v11i1.7615>.
- Hariato, D., Yansen, Y., Suhartoyo, H., Barchia, M. F., & Anwar, G. (2022). Laju Perubahan penutupan lahan dan faktor-faktor yang mendorong perambahan kawasan hutan Bukit Balai wilayah pengelolaan UPTD KPH wilayah XI Kikim-Pasemah Dinas Kehutanan Provinsi Sumatera Selatan. *Jurnal Penelitian Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan*, 11(2), 194–198. <https://doi.org/10.31186/naturalis.11.2.24226>.
- Haya, N., Zamani, N. P., & Soedharma, D. (2016). Analisis struktur ekosistem mangrove di Desa Kukupang Kecamatan Kepulauan Joronga Kabupaten Halmahera Selatan Maluku Utara. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 6(1), 79–89. <https://doi.org/10.24319/jtpk.6.79-89>.

- Hidayat, M. F., Faisal, M. M., & Samsu, A. K. (2022). Pemetaan serapan dan emisikarbon di wilayah pesisir Kabupaten Maros melalui pendekatan software abacus Sp. *Jurnal Eboni*, 4(1), 24–32. <https://doi.org/10.46918/eboni.v4i1.1491>.
- Husain, N., Rustam, R., & Rauf, A. (2020). Strategi pengembangan usaha budidaya tambak yang berkelanjutan di Desa Lawallu Kabupaten Barru. *Jurnal Akuakultur, Teknologi dan Manajemen Perikanan Tangkap, Ilmu Kelautan*, 3(2), 138–150. <https://doi.org/10.33096/joint-fish.v3i2.73>.
- Ibrahim, A., & Lukman, A. H. (2022). Carbon stock in tree biomass in forest-agricultural land use in West Java (Case Study: Cijendil Village, Cianjur). *Ecodevelopment*, 3(1). <https://doi.org/10.24198/ecodev.v3i1.39111>.
- Irfan, M., Widhanarto, G. O., & Dewantara, I. (2021). Estimasi cadangan karbon dari kegiatan reklamasi blok tambang PT. Citra Mineral Investido, Tbk. Kecamatan Sandai Kabupaten Ketapang, Kalimantan Barat. *Jurnal Hutan Lestari*. 9(3), 354–365. <https://doi.org/10.26418/jhl.v9i3.49637>.
- Junarto, R. (2023). Mitigasi perubahan iklim dan dampak pengelolaan sumber daya agraria: wawasan dari Indonesia. *Tunas Agraria*, 6(3), 237–254. <https://doi.org/10.31292/jta.v6i3.219>.
- Juniyanti, L., Prasetyo, L. B., Aprianto, D. P., Purnomo, H., & Kartodihardjo, H. (2020). perubahan penggunaan dan tutupan lahan, serta faktor penyebabnya di Pulau Bengkalis, Provinsi Riau (periode 1990-2019). *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 10(3), 419–435. <https://doi.org/10.29244/jpsl.10.3.419-435>.
- Kenedy, F. V., Maharani, M. V., Wiratama, I. G. N. M., Widyasari, N. L., & Darmayasa, I. G. O. (2024). Ruang terbuka hijau dan jejak karbon primer pada jasa akomodasi vila di Kabupaten Badung, Bali. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 16(1), 18–24. <https://doi.org/10.33005/envirotek.v16i1.327>.
- Leliana, D. H., Meidiana, C., & Prayitno, G. (2024). Penyerapan Karbondioksida (CO₂) akibat perubahan tutupan lahan di Kecamatan Gambut Kabupaten Banjar. *Jurnal Ilmiah Indonesia*, 9(4), 2681–2692. <https://doi.org/10.36418/syntax-literate.v9i4.15679>.
- Lukiawan, R., Purwanto, E. H., & Ayundyahrini, M. (2019). Analisis pentingnya standar koreksi geometrik citra satelit resolusi menengah dan kebutuhan manfaat bagi pengguna. *Jurnal Standardisasi*, 21(1), 45–70. <https://doi.org/10.31153/js.v21i1.735>.
- Manurung, J. P., Boedoyo, M. S., & Sundari, S. (2022). Pajak karbon di Indonesia dalam upaya mitigasi perubahan iklim dan pertumbuhan ekonomi berkelanjutan. *Jurnal Kewarganegaraan*, 6(2), 2723–2328. <https://doi.org/10.31316/jk.v6i2.3171>.

- Maryadi, A., Rafdinal, R., & Linda, R. (2019). Kajian biomasa tegakan atas permukaan (aboveground biomass) dan cadangan karbon di beberapa taman Kota Pontianak. *Jurnal Protobiont*, 8(3), 73–80. <https://doi.org/10.26418/protobiont.v8i3.36855>.
- Nusantara, R. W., Sudarmadji, Djohan, T. S., & Haryono, E. (2014). Emisi CO₂ tanah akibat alih fungsi lahan hutan rawa gambut di Kalimantan Barat. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 21(3), 268–276. <https://doi.org/10.22146/jml.18553>.
- Permata, I., & Rahayu, S. (2021). Estimasi cadangan karbon akibat perubahan tutupan lahan di Kabupaten Kendal. *Teknik PWK (Perencanaan Wilayah Kota)*, 10(3), 220–230. <https://doi.org/10.14710/tpwk.2021.31879>.
- Pratiwi, A. S., Pravitasari, A. E., & Syartinilia. (2024). Perubahan tutupan lahan, degradasi, dan deforestasi hutan di Kabupaten Nabire periode 2000-2019. *Jurnal Lanskap Indonesia*, 16(2), 199–207. <https://doi.org/10.29244/jli.v16i2.54249>.
- Ramadhany, Nugraha. (2023). Laju deforestasi hutan akibat aktivitas pertambangan di Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Teknologi Ramah Lingkungan*, 7(1), 167–176. <https://doi.org/10.26760/jrh.v7i1.10-19>.
- Ridwan, M., & Sarjito, J. (2024). Studi kajian dampak perubahan tutupan lahan terhadap kejadian banjir di daerah aliran sungai. *Journal of Tropical Environmental Research*, 26(1), 38–45. <https://doi.org/10.20961/enviro.v26i1.93145>.
- Rusmawan, R. (2017). Perubahan penggunaan lahan pertanian ke non-pertanian dalam perspektif sosial budaya. *Majalah Ilmiah dan Informasi Kegeografian*, 5(1). <https://doi.org/10.21831/gm.v5i1.14207>.
- 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, F., Adrianto, L., & Nurjaya, I. W. (2023). Pemetaan kerapatan ekosistem mangrove menggunakan analisis normalized difference vegetation index di pesisir Kota Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 26(2), 1–8. <https://doi.org/10.14710/jkt.v26i2.18173>.
- Saharjo, B. H., & Ary, S. M. (2024). Pendugaan emisi gas karbon dioksida akibat kebakaran hutan dan lahan di Kabupaten Muaro Jambi, Provinsi Jambi. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 15(02), 123–130. <https://doi.org/10.29244/j-siltrop.15.02.123-130>.

- Samae, H., Tekasakul, S., Tekasakul, P., & Furuuchi, M. (2021). Emission factors of ultrafine particulate matter and particle-bound polycyclic aromatic hydrocarbons from biomass combustion for source apportionment. *Chemosphere*, 262, 12–78.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127846>.
- Sampurno, R., & Thoriq, A. (2016). Klasifikasi tutupan lahan menggunakan citra landsat 8 operational land imager (oli) di Kabupaten Sumedang. *Jurnal Teknotan*, 10(2), 61–70. <https://doi.org/10.24198/jt.vol10n2.9>.
- Septiani, A. D., Widjojoko, & Wardana, D. (2022). Implementasi program literasi membaca 15 menit sebelum belajar sebagai upaya dalam meningkatkan minat membaca. *Jurnal Pendidikan Guru Sekolah Dasar*, 5(2), 130–135.
<https://doi.org/10.37150/perseda.v5i2.1708>.
- Setiawan, G., Syaufina, L., & Puspaningsih, N. (2015). Estimation of carbon stock loss from land use changes in Bogor Regency. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, 5(2), 141.
<https://doi.org/10.19081/jpsl.5.2.141>.
- Sudibya, A. H., Louhenapessy, S. C., & Wibowo, Y. G. (2022). Pemanfaatan biochar dalam menurunkan emisi karbon di hutan industri. *Journal of Science, Technology, and Visual Culture*, 2(2), 241–246.
- Sultan, S., Hasanuddin, H., Latifah, H., & Awal, N. (2020). Nilai serapan karbon hutan pinus di Desa Pesse Kecamatan Donri-Donri Kabupaten Soppeng. *Jurnal Penelitian Kehutanan Bonita*, 2(1), 32.
<https://doi.org/10.55285/bonita.v2i1.433>.
- Suprayitno, S., Mustikaningrum, D., Kristiawan, K., Firlandiana, M., & Prasetyo, H. (2024). Estimasi cadangan karbon tanaman tahunan di lingkungan kampus Universitas Sunan Bonang dalam mengurangi dampak pemanasan global di Kota Tuban. *Produksi Tanaman*, 12(1), 45–55.
<https://doi.org/10.21776/ub.protan.2024.012.01.06>.
- Swastika, D. K. S., Agustian, A., Suryana, A., Muslim, C., Sunarsih, Nf., & Perdana, R. P. (2021). Tinjauan historis teknologi varietas unggul dan program intensifikasi dalam peningkatan produktivitas padi berkelanjutan. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 39(2), 103.
<https://doi.org/10.21082/fae.v39n2.2021.103-114>.
- Untajana, S., Oszaer, R., & Latupapua, Y. Th. (2019). Analisis kebutuhan kawasan hutan kota berdasarkan emisi karbon dioksida di Kota Piru, Seram bagian barat. *Jurnal Hutan Pulau-Pulau Kecil*, 3(2), 114–126.
<https://doi.org/10.30598/jhppk.2019.3.2.114>.

- Wahyuni, H., & Suranto, S. (2021). Dampak deforestasi hutan skala besar terhadap pemanasan global di Indonesia. *Jurnal Ilmiah Ilmu Pemerintahan*, 6(1), 148–162. <https://doi.org/10.14710/jiip.v6i1.10083>.
- Yaqin, N., Rizkiyah, M., Putra, E. A., Suryanti, S., & Febrianto, S. (2022). Estimasi serapan karbon pada kawasan mangrove tapak di Desa Tugurejo Semarang. *Buletin Oseanografi Marina*, 11(1), 19–29. <https://doi.org/10.14710/buloma.v11i1.38256>.