

TESIS

**ANALISIS ALIH FUNGSI LAHAN MENJADI PERMUKIMAN
DAN DAMPAKNYA TERHADAP STOK KARBON DI
KECAMATAN LABUAPI KABUPATEN LOMBOK BARAT**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Magister (S2) Teknik Lingkungan**



M. Gegas Imamuna Al Hidayat

23927004

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

MEGISTER TEKNIK LINGKUNGAN

2025

TESIS

**ANALISIS ALIH FUNGSI LAHAN MENJADI PERMUKIMAN
DAN DAMPAKNYA TERHADAP STOK KARBON DI
KECAMATAN LABUAPI KABUPATEN LOMBOK BARAT**

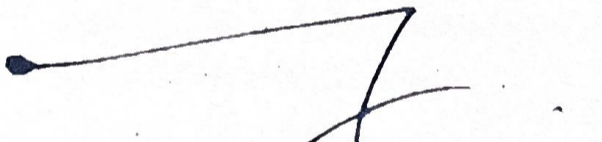
**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Magister (S2) Teknik Lingkungan**



M. Gegas Imamuna Al Hidayat

23927004

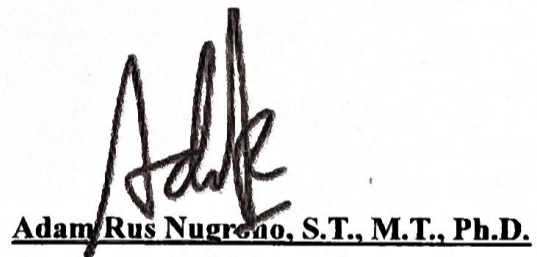
Disetujui,
Dosen Pembimbing



Prof. Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiryo,
M.Sc., I.P.M., ASEAN Eng.

NIK. 875110107

Tanggal: Rabu, 20 Agustus 2025



Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.

NIK. 155131304

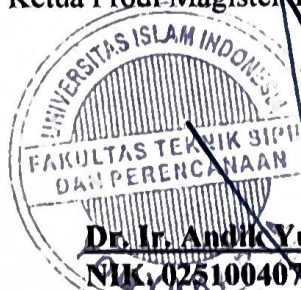
Tanggal: Rabu, 20 Agustus 2025



Hairuddin, S.Pd., M.Pd.

Tanggal: Rabu, 20 Agustus 2025

Mengetahui,
Ketua Prodi Magister Teknik Lingkungan FTSP UII



Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., M.T., I.P.M.

NIK. 025100407

Tanggal: Rabu, 20 Agustus 2025

HALAMAN PENGESAHAN

***ANALISIS ALIH FUNGSI LAHAN MENJADI PERMUKIMAN DAN
DAMPAKNYA TERHADAP STOK KARBON DI KECAMATAN
LABUAPI KABUPATEN LOMBOK BARAT***

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Jumat
Tanggal : 15 Agustus 2025

Disusun oleh:

M. Gegas Imamuna Al Hidayat
23927004





Tim Penguji :

Prof. Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyono,
M.Sc., I.P.M., ASEAN Eng.

Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.

Hairuddin, S.Pd., M.Pd.

Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T.

()
()
()
()

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, Rabu, 20 Agustus 2025

Yang membuat pernyataan,



M. Gegas Imamuna Al Hidayat

NIM: 23927004

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena hanya dengan nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis bisa menyelesaikan penulisan Tesis ini yang berjudul “*Analisis Alih Fungsi Lahan Menjadi Permukiman Dan Dampaknya Terhadap Stok Karbon Di Kecamatan Labuapi Kabupaten Lombok Barat*”. Dan tak lupa pula Shalawat serta salam semoga tetap terlimpahkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad SAW, sang pembawa kabar gembira dan sebaik-baiknya tauladan bagi yang mengharap Rahmat dan Hidayah-Nya.

Tujuan dari penulisan tesis ini adalah untuk memenuhi syarat dalam mencapai derajat Magister Teknik pada Program Studi Megister Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.

Selama proses penulisan Tesis ini, begitu banyak bantuan dan dukungan yang diterima penulis dari berbagai pihak, untuk itu dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Program Magister atas dukungan dan kebijaksanaannya dalam memberikan izin dan fasilitas selama proses penelitian dan penyusunan tesis serta masukan dan saran sangat berharga bagi penyelesaian tesis ini.
2. Bapak Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyono, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Utama, yang telah memberikan bimbingan, tambahan ilmu, serta masukan dan pengarahan dalam penulisan Tesis ini.
3. Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing Pendamping yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, masukan, juga tambahan referensi serta ilmunya dan dengan penuh sabar dan penuh perhatian dalam penulisan Tesis ini.
4. Hairuddin, S.Pd., M.Pd. selaku pembimbing Pendamping yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, masukan, juga tambahan referensi serta ilmunya dan dengan penuh sabar dan penuh perhatian dalam penulisan Tesis ini.
5. Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T. selaku penguji tesis ini. Atas bimbingan, arahan, dan saran konstruktif yang telah diberikan, penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan baik.
6. Bapak dan Ibu Dosen Teknik Lingkungan UII yang telah memberikan banyak ilmu kepada penulis.
7. Kedua Orang Tua, penulis, Bapak Sumher Hadi dan Mama Baiq Ratnaningsih yang selalu memberikan semangat, dukungan baik moral maupun moril, kasih sayang, serta doa sehingga penulis bisa menyelesaikan Tesis.

8. Muzakkir Tri Wangsa Angger dan Nune Shafa Takdir Malik selaku saudara kandung penulis yang selalu mendengarkan keluhan, memberikan semangat, menghibur, dan membantu penulis dalam proses penulisan Tesis serta selalu menemani penulis dalam kondisi suka maupun duka.
9. Sasa, Viskan, Pegy, Ayu, Fardiaz, Tholib selaku sahabat penulis yang selalu ada memberikan motivasi dan dukungan selama penyelesaian Tesis ini.

Akhir kata penulis mohon maaf yang sebesar-besarnya atas segala kesalahan yang penulis buat baik sengaja maupun tidak disengaja selama berkuliah di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia maupun selama penulisan Tesis ini. Semoga Allah SWT mengampuni segala kesalahan dan menunjukkan jalan yang lurus dan benar kepada kita semua. Amin

Yogyakarta, Rabu, 20 Agustus 2025



M. Gegas Imamuna Al Hidayat

ABSTRAK

Alih fungsi lahan menjadi permukiman merupakan fenomena yang kian meningkat di kawasan peri-urban, termasuk Kecamatan Labuapi, Kabupaten Lombok Barat, yang berbatasan langsung dengan Kota Mataram. Urbanisasi yang pesat dan lemahnya pengendalian tata ruang menimbulkan tekanan besar terhadap kawasan vegetatif, sehingga berdampak pada penurunan stok karbon dan peningkatan emisi Gas Rumah Kaca, yang menjadi isu strategis dalam mitigasi perubahan iklim. Penelitian ini bertujuan untuk: Memetakan alih fungsi lahan menjadi permukiman selama periode 2015-2023, menganalisis dampaknya terhadap stok karbon, mengevaluasi kesesuaiannya dengan RTRW Kabupaten Lombok Barat 2011-2031, dan memberikan rekomendasi mitigasi berbasis data spasial dan karbon. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif-deskriptif dengan memanfaatkan citra satelit Landsat 8 melalui metode klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) serta validasi lapangan. Estimasi stok karbon dihitung berdasarkan nilai cadangan karbon untuk masing-masing jenis lahan. Analisis spasial dilakukan untuk menilai perubahan tutupan lahan, perhitungan ΔC digunakan untuk menganalisis perubahan stok karbon tahunan, dan evaluasi kesesuaian dilakukan melalui overlay zonasi RTRW. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lahan permukiman mengalami peningkatan signifikan dari 358,94 Ha (2015) menjadi 1.462,39 Ha (2023), sementara lahan vegetatif seperti kebun, tegalan, dan pertanian menyusut drastis. Estimasi stok karbon total menurun sebesar 50,34%, dari 29.195,05 ton menjadi 14.494,44 ton. Analisis ΔC menunjukkan bahwa kehilangan stok karbon terbesar berasal dari lahan kebun (8.204,31 ton) dan tegalan (6.061,46 ton), estimasi total emisi CO₂-eq sebesar 53.928,24 ton, dengan misi tertinggi 7.294,22 ton CO₂-eq dari permukiman dan penurunan terbesar 21.806,03 ton CO₂-eq dari kebun. Evaluasi kesesuaian dengan RTRW mengungkapkan bahwa hanya 17,41% dari lahan permukiman saat ini sesuai dengan zonasi tata ruang, mengindikasikan lemahnya implementasi kebijakan tata ruang. Kesimpulannya, alih fungsi lahan di Kecamatan Labuapi menimbulkan dampak ekologis signifikan dan menunjukkan perlunya intervensi kebijakan berbasis konservasi karbon. Rekomendasi mitigasi meliputi peninjauan zonasi RTRW, penerapan agroforestry, serta insentif berbasis jasa ekosistem. Penelitian ini memberikan kontribusi penting terhadap pengembangan kebijakan tata ruang berkelanjutan dan dapat dikembangkan lebih lanjut dengan pendekatan model spasial prediktif dan analisis karbon organik tanah secara vertikal.

Kata Kunci: alih fungsi lahan, stok karbon, emisi CO₂-eq, RTRW, penginderaan jauh.

ABSTRACT

Land-use conversion into residential areas is an increasingly prevalent phenomenon in peri-urban zones, including Labuapi District, West Lombok Regency, which directly borders Mataram City. Rapid urbanization and weak spatial planning control exert significant pressure on vegetative areas, leading to a decline in carbon stocks and an increase in greenhouse gas emissions, which constitute a strategic issue in climate change mitigation. This study aims to: map the conversion of land into residential areas from 2015 to 2023, analyze its impact on carbon stock, evaluate its conformity with the West Lombok Regency Spatial Plan (RTRW) 2011-2031, and provide mitigation recommendations based on spatial and carbon data. The research employs a quantitative-descriptive approach using Landsat 8 satellite imagery through supervised classification and field validation. Carbon stock estimates are calculated based on the carbon reserve values of each land type. Spatial analysis is conducted to assess land cover changes, ΔC calculations are used to analyze annual carbon stock changes, and spatial conformity is evaluated through overlay analysis with RTRW zoning. The results show that residential land increased significantly from 358.94 ha (2015) to 1,462.39 ha (2023), while vegetated areas such as gardens, drylands, and agricultural land declined drastically. Total estimated carbon stock decreased by 50.34%, from 29,195.05 tons to 14,494.44 tons. The ΔC analysis indicates that the largest carbon stock losses occurred in garden land (8,204,31 tons) and dryland (6,061,46 tons), with total CO₂-eq emissions estimated at 53,928.24 tons. The highest emissions came from residential land (7,294.22 tons CO₂-eq), while the largest reductions occurred in garden land (21,806,03 tons CO₂-eq). The spatial conformity evaluation reveals that only 17.41% of current residential areas align with the zoning in the spatial plan, indicating weak spatial planning implementation. In conclusion, land-use conversion in Labuapi District has caused significant ecological impacts and underscores the need for carbon conservation-based policy interventions. Mitigation recommendations include revising RTRW zoning, implementing agroforestry and providing ecosystem service-based incentives. This study provides important contributions to the development of sustainable spatial policies and can be further expanded through predictive spatial modeling and vertical soil organic carbon analysis.

Keywords: land-use conversion, carbon stock, CO₂-eq emissions, spatial planning, remote sensing.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	13
1.1 Latar Belakang.....	13
1.2 Rumusan Masalah.....	15
1.3 Tujuan Penelitian.....	16
1.4 Manfaat Penelitian.....	16
1.5 Kerangka Berpikir.....	17
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	19
2.1 Alih Fungsi Lahan.....	19
2.2 Stok Karbon.....	21
2.3 Sekuestrasi Karbon.....	23
2.4 Emisi Karbon Dari Alih Fungsi Lahan.....	26
2.5 Observasi Jarak Jauh.....	28
2.6 Korelasi Alih Fungsi Lahan Dengan Stok Karbon.....	29
2.7 Kebijakan Tata Ruang dan RTRW.....	30
2.8 Penelitian Terdahulu.....	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	44
3.1 Kecamatan Labuapi.....	44
3.2 Tahapan Penelitian.....	45
3.3 Pengumpulan Data.....	48
3.4 Analisis Alih Fungsi Lahan.....	48
3.4.1 Proses Klasifikasi dan Validasi Citra Satelit Landsat 8.....	48
3.4.2 Validasi Hasil Klasifikasi.....	51
3.5 Analisis dan Validasi Stok Karbon.....	53
3.6 Analisis Perubahan Stok Karbon.....	54
3.7 Analisis dan Validasi Kesesuaian Alih Fungsi Lahan.....	55
3.7 Analisis Mitigasi Dampak Alih Fungsi Lahan Terhadap Stok Karbon.....	57
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	58
4.1 Analisis Alih Fungsi Lahan di Kecamatan Labuapi.....	58
4.2 Analisis Stok Karbon.....	60
4.3 Perubahan Stok Karbon Tahunan antar Kategori Tutupan Lahan.....	63
4.4 Evaluasi Kesesuaian Alih Fungsi Lahan dengan RTRW.....	67

4.5 Rekomendasi Kebijakan Mitigasi Dampak Alih Fungsi Lahan Terhadap Stok Karbon.....	73
BAB V PENUTUP	76
5.1 Kesimpulan.....	76
5.2 Saran.....	77
DAFTAR PUSTAKA	79
LAMPIRAN.....	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kerangka Berpikir Penelitian	18
Gambar 2.1 Skema Perpindahan Karbon dari Daratan ke Atmosfer akibat Alih Fungsi Lahan.....	27
Gambar 3.1 Peta Administrasi Kecamatan Labuapi.....	44
Gambar 3.2 Tahapan Penelitian.....	47
Gambar 3.3 Klasifikasi Terbimbing Citra Landsat 8 pada Kecamatan Labuapi.....	50
Gambar 3.4 Pengamatan lapangan.....	52
Gambar 3.5 Peta Zonasi RTRW Kecamatan Labuapi.....	56
Gambar 4.1 Tren Penggunaan Lahan Kecamatan Labuapi.....	58
Gambar 4.2 Komposisi Penggunaan Lahan di Kecamatan Labuapi Tahun 2015-2023	59
Gambar 4.3 Perubahan Luas Penggunaan Lahan Kecamatan Labuapi.....	60
Gambar 4.4 Stok Karbon Kecamatan Labuapi	62
Gambar 4.5 Perubahan Stok Karbon Tahunan (ΔC) per Jenis Lahan di Kecamatan Labuapi (2015–2023).....	64
Gambar 4.6 Perubahan Ton CO ₂ -eq per Jenis Lahan di Kecamatan Labuapi Tahun 2015–2023	66
Gambar 4.7 Peta RTRW Kabuapten Lombok Barat 2011-2031 (Hasil Digitasi Ulang).....	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Estimasi Stok Karbon.....	21
Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu.....	36
Tabel 2.3 Persamaan dan Perbedaan Penelitian	42
Tabel 3.1 Tabel Kategori Lahan Berdasarkan SNI 7645:2010.....	51
Tabel 4.1 Stok Karbon Kecamatan Labuapi.....	61
Tabel 4.2 Perubahan Stok Karbon (ΔC) Berdasarkan Jenis Lahan di Kecamatan Labuapi 2015–2023	63
Tabel 4.3 Estimasi Emisi dan Serapan CO ₂ Berdasarkan Perubahan Stok Karbon per Jenis Tutupan Lahan Kecamatan Labuapi 2015–2023	65
Tabel 4.4 Alokasi Penggunaan Lahan Kecamatan Labuapi	69
Tabel 4.5 Selisih luas lahan RTRW 2011-2031 dengan Lahan Aktual	69
Tabel 4.6 Persentase Kesesuaian Penggunaan Kecamatan Labuapi Berdasarkan RTRW Kabupaten Lombok Barat 2011-2031	70
Tabel 4.7 Perubahan Luasan RTH di Kecamatan Labuapi Berdasarkan Data Spasial 2015-2023	71
Tabel 4.8 Tingkat Kesesuaian Fungsi Lahan Budidaya Kecamatan Labuapi Berdasarkan RTRW Kabupaten Lombok Barat Tahun 2011-2031.....	72

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Alih fungsi lahan merupakan fenomena global yang terjadi akibat pertumbuhan populasi, urbanisasi, dan kebutuhan infrastruktur yang semakin meningkat. Secara global, perubahan penggunaan lahan dari kawasan hijau menjadi kawasan terbangun telah menyebabkan berbagai dampak lingkungan, seperti hilangnya keanekaragaman hayati, penurunan kualitas tanah, serta peningkatan emisi karbon yang berkontribusi terhadap perubahan iklim (Zhou et al., 2021). Dalam skala internasional, studi menunjukkan bahwa lebih dari 95% penurunan penyimpanan karbon di berbagai negara disebabkan oleh alih fungsi lahan dari hutan dan lahan pertanian menjadi kawasan industri serta permukiman (Zhu et al., 2021). Selain itu, di Inggris, alih fungsi lahan menjadi faktor utama dalam perubahan penyerapan karbon, yang menyebabkan degradasi ekosistem dan meningkatkan emisi gas rumah kaca (Zheng & Zheng, 2023).

Alih fungsi lahan merupakan fenomena global yang terjadi sebagai konsekuensi dari dinamika demografis, pertumbuhan ekonomi, dan pembangunan infrastruktur. Transformasi lahan hijau menjadi kawasan terbangun telah memicu beragam dampak ekologis, termasuk penurunan keanekaragaman hayati, degradasi kualitas tanah, dan peningkatan emisi karbon yang mempercepat laju perubahan iklim (Zhou et al., 2021). Studi global menunjukkan bahwa alih fungsi lahan hutan dan pertanian menjadi kawasan industri dan permukiman menjadi penyumbang utama berkurangnya kapasitas penyimpanan karbon (Zhu et al., 2021). Di Inggris, misalnya, perubahan tata guna lahan menjadi salah satu determinan utama berkurangnya kemampuan lahan menyerap karbon, menyebabkan degradasi ekosistem dan peningkatan emisi gas rumah kaca (Zheng & Zheng, 2023).

Di Indonesia, persoalan alih fungsi lahan menjadi isu strategis dalam konteks pengelolaan sumber daya alam dan lingkungan hidup. Dampaknya tidak hanya menyentuh aspek ketahanan pangan dan keberlanjutan ekosistem, tetapi juga memengaruhi keseimbangan siklus karbon (Hendrawan & Dewi, 2016). Berdasarkan data BPS Indonesia (2016), terdapat fluktuasi luas lahan di Indonesia selama beberapa tahun terakhir, dari 91.800 Ha pada 2014, meningkat menjadi 94.400 Ha pada 2019, namun kembali menurun menjadi 90.800 Ha pada 2022. Fluktuasi ini menunjukkan adanya dinamika penggunaan lahan yang berkaitan erat dengan arah kebijakan pembangunan dan tata ruang (Harniyati, 2021).

Alih fungsi lahan di Indonesia terjadi dengan laju rata-rata 110.000 Ha per tahun, yang menyebabkan penurunan luas lahan pertanian serta hilangnya vegetasi yang selama ini berperan sebagai penyerap karbon (Andi & Yunus, 2022). Beberapa daerah menunjukkan tren alih fungsi lahan yang signifikan, seperti Kabupaten Sleman, dan Provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB). Di Sleman Barat, contohnya,

selama periode 2012-2017 terjadi penurunan lahan sawah irigasi sebesar 6,39% (685,22 Ha), sebagian besar beralih menjadi permukiman (Sarastika et al., 2023).

Khusus di Provinsi NTB, transformasi penggunaan lahan berlangsung cukup intensif. Data dari Dinas Pertanian dan Perkebunan Provinsi NTB mencatat bahwa luas sawah menurun dari 266.478 Ha pada 2015 menjadi 251.587 Ha pada 2023. Sementara itu, lahan pertanian non-sawah justru meningkat dari 1.437.384 Ha menjadi 1.457.041 Ha dalam periode yang sama. Pergeseran ini tidak hanya merefleksikan perubahan struktur ekonomi, tetapi juga menunjukkan tekanan terhadap sistem lahan sebagai akibat pertumbuhan penduduk, pembangunan infrastruktur, dan lemahnya penegakan kebijakan tata ruang (Anggi et al., 2023).

Dampak ekologis dari alih fungsi lahan tidak terbatas pada pengurangan luas pertanian produktif, tetapi juga mencakup penurunan kandungan karbon organik tanah (*Soil Organic Carbon/SOC*), yang merupakan indikator penting dalam mitigasi perubahan iklim (Liang et al., 2021). SOC memainkan peran krusial dalam siklus karbon global karena menyimpan lebih banyak karbon dibandingkan biomassa vegetatif. Proses penyimpanan karbon dalam bentuk organik di tanah dan vegetasi, yang dikenal sebagai sekuestrasi karbon, menjadi terganggu akibat alih fungsi lahan. Ketika vegetasi alami dan lahan pertanian dialihkan menjadi permukiman, kapasitas lahan dalam menyerap dan menyimpan karbon menurun secara signifikan, sehingga berkontribusi terhadap peningkatan emisi karbon ke atmosfer (Nabikandi et al., 2024).

Dalam kerangka teoritik, Briassoulis (2020) menekankan bahwa perubahan penggunaan lahan dipengaruhi oleh kombinasi faktor biofisik dan sosio-ekonomi yang saling berinteraksi. Dinamika penggunaan lahan membutuhkan pemahaman menyeluruh terhadap karakteristik lahan, tekanan ekonomi, kebijakan pembangunan, serta kecenderungan spasial yang terjadi di suatu wilayah. Menurutnya, pengabaian terhadap interaksi ini dapat menimbulkan dampak ekologis yang tidak terkendali, terutama di wilayah dengan tekanan pembangunan yang tinggi.

Perubahan tutupan lahan, terutama dari pertanian menjadi permukiman, terbukti mengurangi kapasitas lahan untuk menyimpan karbon, sekaligus meningkatkan emisi CO₂ ke atmosfer. Kecamatan Kecamatan Labuapi di Kabupaten Lombok Barat merupakan salah satu wilayah di NTB yang mengalami tekanan tinggi terhadap lahan pertanian akibat proses urbanisasi yang cepat. Terletak di sekitar kawasan Mataram, Kecamatan Labuapi memiliki luas lahan sawah yang dilindungi sebesar 9.102,17 Ha. Namun, data terbaru menunjukkan bahwa sekitar 992,03 Ha dari lahan tersebut telah beralih fungsi menjadi permukiman dan kawasan infrastruktur lainnya (Susanti et al., 2023).

Fenomena ini disebabkan oleh peningkatan permintaan perumahan, pembangunan jaringan jalan, dan lemahnya pengawasan implementasi kebijakan perlindungan lahan pertanian berkelanjutan. Transformasi lahan di Kecamatan Labuapi telah mengubah struktur tutupan lahan dan berdampak langsung terhadap dinamika stok karbon tanah. Penelitian Rohmayadi et al. (2020) mengindikasikan bahwa alih fungsi lahan pertanian menjadi kawasan terbangun menyebabkan hilangnya vegetasi penutup tanah, yang berkontribusi pada berkurangnya akumulasi karbon organik. Temuan ini diperkuat oleh studi Nabikandi et al. (2024) yang menyatakan bahwa SOC merupakan reservoir karbon terbesar dalam ekosistem daratan, dan alih fungsi penggunaan lahan menjadi faktor utama penurunan kapasitas simpan karbon tersebut. Meskipun berbagai studi telah mengungkapkan bahwa perubahan tata guna lahan berkontribusi terhadap penurunan stok karbon, kajian yang secara spesifik membahas dampak alih fungsi lahan terhadap stok karbon di tingkat lokal, khususnya di Kecamatan Labuapi, masih terbatas.

Oleh karena itu, penelitian ini dimaksudkan untuk mengisi celah tersebut melalui analisis empiris terhadap hubungan antara alih fungsi lahan dan perubahan stok karbon. Pendekatan berbasis observasi jarak jauh dan integrasi data spasial-temporal digunakan untuk mengidentifikasi tren perubahan penggunaan lahan serta estimasi karbon yang tersimpan di berbagai kelas lahan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi penting dalam pengembangan kebijakan tata ruang yang adaptif terhadap tantangan perubahan iklim, serta menjadi dasar dalam upaya pelestarian lingkungan di wilayah yang sedang mengalami tekanan pembangunan. Hasil kajian ini diharapkan tidak hanya memperkaya literatur ilmiah mengenai alih fungsi lahan dan stok karbon, tetapi juga menjadi rujukan strategis bagi pemerintah daerah dan pemangku kepentingan dalam perencanaan pembangunan berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Kecamatan Labuapi telah mengalami alih fungsi lahan yang signifikan, terutama dari lahan pertanian dan ruang terbuka menjadi permukiman sebagai akibat dari pertumbuhan populasi dan urbanisasi yang pesat. Perubahan ini menunjukkan dinamika sosial dan ekonomi serta banyak dampak lingkungan yang perlu diidentifikasi dan dipelajari lebih lanjut.

Dari tahun 2015 hingga 2023, laju urbanisasi di Kecamatan Labuapi menunjukkan tren yang semakin meningkat, yang berpotensi mengubah karakteristik ekologis dan sosial kawasan tersebut. Alih fungsi lahan menjadi permukiman berimplikasi pada penurunan luas lahan hijau yang berperan penting dalam penyimpanan karbon, sehingga berdampak pada perubahan iklim lokal dan global. Dengan demikian, penting untuk memahami secara komprehensif gambaran

alih fungsi lahan dalam periode tersebut, termasuk faktor-faktor yang mendorong perubahan dan konsekuensinya terhadap lingkungan.

Berdasarkan latar belakang tersebut rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pemetaan alih fungsi lahan menjadi permukiman di Kecamatan Labuapi tahun 2015-2023?
2. Bagaimana hubungan alih fungsi lahan menjadi permukiman terhadap stok karbon di Kecamatan Labuapi tahun 2015-2023?
3. Bagaimana kesesuaian antara alih fungsi lahan menjadi permukiman di Kecamatan Labuapi dengan ketentuan RTRW tahun 2015–2023?
4. Bagaimana rekomendasi kebijakan mitigasi dampak alih fungsi lahan di Kecamatan Labuapi terhadap stok karbon?

1.3 Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui serta mengukur hubungan alih fungsi lahan terhadap stok karbon. Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Melakukan pemetaan alih fungsi lahan menjadi permukiman di Kecamatan Labuapi pada periode 2015-2023.
2. Menganalisis dampak alih fungsi lahan menjadi permukiman terhadap stok karbon di Kecamatan Labuapi pada periode 2015-2023.
3. Mengevaluasi kesesuaian alih fungsi lahan menjadi permukiman di Kecamatan Labuapi dengan ketentuan RTRW tahun 2015–2023.
4. Memberikan rekomendasi kebijakan mitigasi dampak alih fungsi lahan di Kecamatan Labuapi terhadap stok karbon.

1.4 Manfaat Penelitian

Diharapkan bahwa penelitian ini akan memberikan kontribusi yang signifikan untuk kemajuan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang tata ruang dan ekologi. Penelitian ini akan memperkaya literatur yang ada dan memberikan wawasan baru tentang dinamika penggunaan lahan dan efeknya terhadap lingkungan dengan memfokuskan pada alih fungsi lahan menjadi permukiman. Adapun manfaat teoritik sebagai berikut:

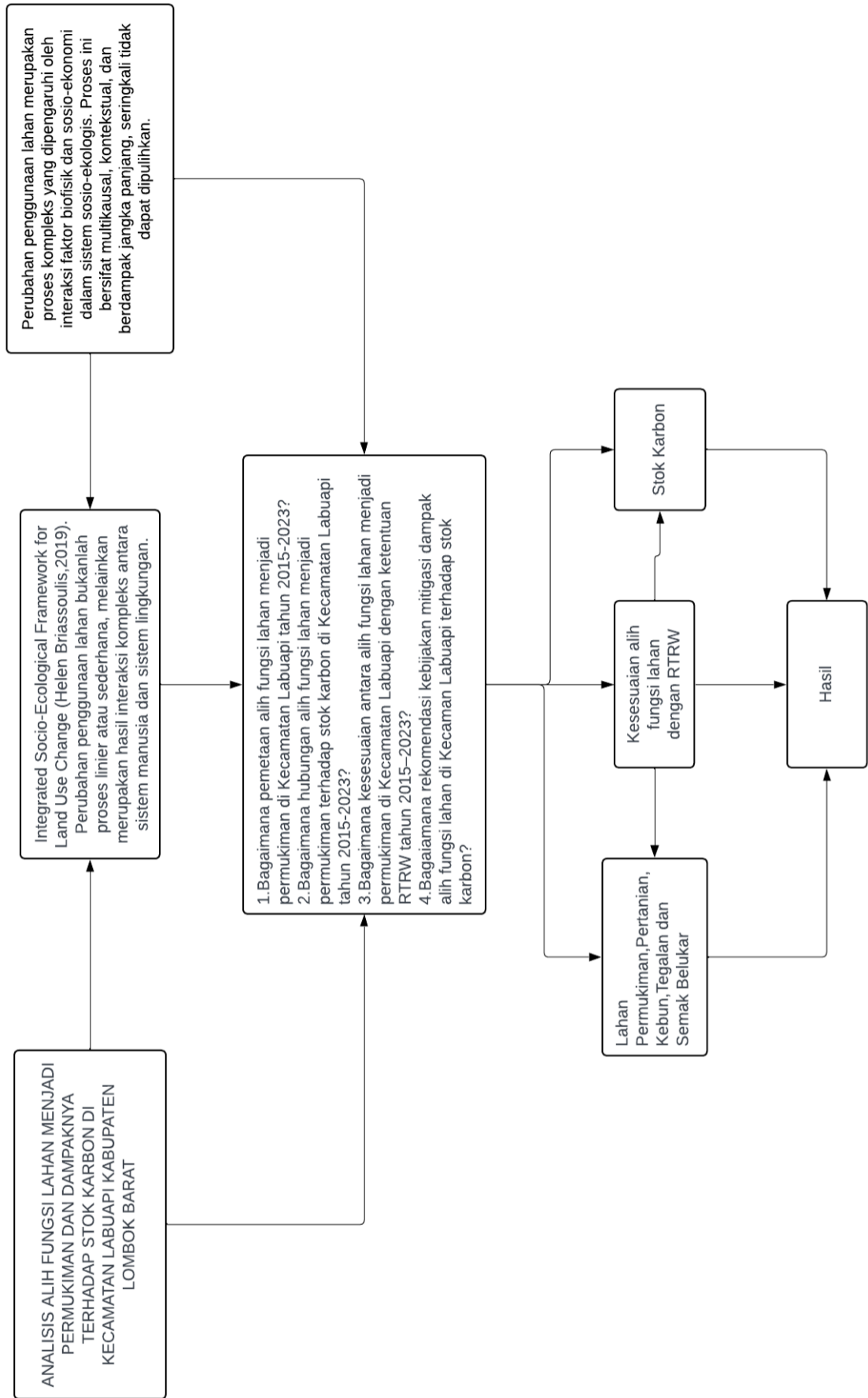
1. Penelitian ini memperkaya metode pemetaan lahan dengan dimensi spasial dan temporal alih fungsi lahan.
2. Hasil studi memperkuat teori estimasi kehilangan stok karbon akibat alih fungsi lahan.
3. Penelitian ini mengkaji efektivitas tata ruang dalam mengendalikan perubahan penggunaan lahan di tingkat lokal.
4. Studi ini mendukung pengembangan teori kebijakan lingkungan yang adaptif terhadap perubahan lahan.

Di sisi lain, hasil pada penelitian ini sekiranya dapat memberikan manfaat langsung bagi kebijakan pengelolaan lahan dan lingkungan. Studi ini tidak hanya berfokus pada analisis; itu juga memberikan saran praktis yang dapat diterapkan oleh masyarakat dan pembuat kebijakan. Adapun manfaat secara praktis sebagai berikut:

1. Peta hasil penelitian menjadi basis data geospasial untuk evaluasi kebijakan tata ruang daerah.
2. Temuan ini dapat digunakan untuk merumuskan kebijakan mitigasi berbasis data stok karbon.
3. Pemerintah dapat mengevaluasi dan merevisi RTRW secara kontekstual menggunakan hasil studi ini.
4. Rekomendasi penelitian menjadi dasar perencanaan wilayah yang seimbang antara permukiman dan pelestarian karbon.

1.5 Kerangka Berpikir

Alih fungsi lahan dari kawasan hijau menjadi permukiman menimbulkan dampak ekologis serius. Di Kecamatan Labuapi Kabupaten Lombok Barat, urbanisasi pesat telah menyebabkan berkurangnya lahan pertanian yang berfungsi sebagai penyerap karbon. Menurut Briassoulis (2020), perubahan penggunaan lahan dipicu oleh interaksi antara faktor biofisik dan sosio-ekonomi. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan alih fungsi lahan, menganalisis dampaknya terhadap stok karbon, serta mengevaluasi kesesuaiannya dengan RTRW. Penurunan stok karbon berisiko mengganggu keseimbangan ekosistem dan memperburuk perubahan iklim. Melalui pendekatan spasial-temporal, penelitian ini diharapkan memberikan dasar ilmiah bagi perumusan kebijakan mitigasi yang berkelanjutan.



Gambar 1.1 Kerangka Berpikir Penelitian

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Alih Fungsi Lahan

Alih fungsi lahan adalah proses ketika suatu area lahan yang awalnya digunakan untuk fungsi tertentu seperti pertanian berubah menjadi penggunaan lain, misalnya menjadi kawasan permukiman, industri, atau infrastruktur, perubahan ini sering terjadi seiring dengan pertumbuhan penduduk dan pembangunan wilayah (Sitorus, 2017). Alih fungsi lahan adalah perubahan penggunaan lahan dari satu jenis ke jenis yang lain, seperti dari lahan pertanian menjadi lahan industri atau permukiman. Perubahan ini terjadi akibat interaksi antara proses biogeofisik dan aktivitas manusia, yang dipengaruhi oleh berbagai faktor yang bersifat dinamis (Zhou et al., 2020). Alih fungsi lahan menimbulkan dampak signifikan terhadap lingkungan, ekonomi, dan sosial (Winkler et al., 2021).

Menurut Briassoulis (2020), perubahan penggunaan lahan merupakan hasil dari interaksi kompleks antara faktor biofisik dan sosio-ekonomi yang saling memengaruhi. Ia menekankan bahwa dinamika ini tidak bisa dipahami secara terpisah, karena setiap keputusan manusia dalam memanfaatkan lahan selalu berada dalam konteks yang lebih luas, yakni tekanan pertumbuhan penduduk, kebijakan tata ruang, dan tuntutan pembangunan. Kebutuhan akan ruang baru untuk perumahan, kawasan industri, serta infrastruktur menjadi pemicu utama terjadinya alih fungsi lahan. Di sisi lain, faktor eksternal seperti perubahan iklim juga turut memengaruhi kesuburan dan produktivitas lahan, sehingga mempercepat proses alih fungsi. Dengan kata lain, alih fungsi lahan bukan sekadar pergeseran fisik ruang, tetapi bagian dari proses sosial-ekonomi yang mencerminkan dinamika perubahan zaman

Ada beberapa faktor yang menjadi penyebab alih fungsi lahan. Peningkatan jumlah penduduk mendorong kebutuhan akan lahan untuk permukiman, pertanian, dan infrastruktur. Hal ini sering kali menyebabkan alih fungsi lahan tidak terpakai seperti hutan dan padang rumput menjadi lahan yang lebih produktif (Milawati, 2019; Zhou et al., 2020). Urbanisasi selanjutnya menjadi salah satu faktor yang menyebabkan alih fungsi lahan terbangun, secara signifikan menyebabkan berkurangnya lahan pertanian yang tersedia.

Peristiwa ini menyebabkan banyaknya populasi yang berpindah dari perkotaan sehingga permintaan infrastruktur dan permukiman juga ikut meningkat, hal ini juga mendorong alih fungsi lahan untuk memenuhi kebutuhan infrastruktur dan permukiman (Winkler et al., 2021). Kebijakan pemerintah seperti program perlindungan lahan pertanian dan kontrol penggunaan lahan berperan penting dalam proses alih fungsi lahan, dengan menerapkan kebijakan yang ketat dapat secara signifikan mempengaruhi alih fungsi lahan (Winkler et al., 2021).

Perubahan iklim meningkatkan alih fungsi lahan karena mempengaruhi kesuburan tanah dan meningkatkan permintaan untuk lahan baru. Peningkatan suhu global dan pola curah hujan yang tidak menentu dapat mengurangi produktivitas lahan pertanian yang sudah ada (Hasan et al., 2020; Zhou et al., 2020). Pertumbuhan ekonomi yang cepat menjadi salah pendorong alih fungsi lahan untuk kebutuhan permukiman dan infrastruktur (Jong et al., 2021; Nurrahma et al., 2024).

Alih fungsi lahan menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan dan Masyarakat. Alih fungsi lahan dapat menyebabkan penurunan kualitas serta kuantitas kemampuan ekosistem termasuk didalamnya hilangnya keanekaragaman hayati, penurunan kualitas tanah, peningkatan limbah khususnya limbah rumah tangga (Gomes et al., 2021; Hasan et al., 2020). Alih fungsi lahan menjadi permukiman atau industri mengakibatkan berkurangnya ketersediaan pangan yang memiliki potensi menyebabkan ketidakstabilan sosial dan ekonomi (Nurrahma et al., 2024; Pratomo & Wijayanti, 2023). Perubahan dalam struktur ekonomi akibat alih fungsi lahan menyebabkan petani yang sebelumnya mandiri menjadi tergantung pada pembelian (Nurrahma et al., 2024).

Alih fungsi lahan sawah, kebun, tegalan, dan semak belukar menjadi area permukiman menimbulkan dampak yang besar terhadap kemampuan alam menyimpan karbon. Di Rancakalong, Jawa Barat, pembangunan jalan dan permukiman menggantikan kebun dan lahan kering, menyebabkan hilangnya sekitar 11.000 ton karbon yang sebelumnya disimpan dalam vegetasi seperti pohon dan semak (Malik et al., 2024). Studi di Puding, Guizhou, menunjukkan bahwa alih fungsi sawah menjadi lahan konstruksi berdampak negatif terhadap stok karbon regional (Y. Li & Luo, 2024). Di Indonesia, Bengkulu, tanah agroforestri dan lahan pertanian menunjukkan penyimpanan karbon tanah yang jauh lebih rendah dibandingkan hutan alami (Wiryo et al., 2021).

Model simulasi di Meghalaya di India juga mengindikasikan bahwa alih fungsi pertanian menjadi perkebunan tetap dapat memengaruhi stok karbon tanah secara signifikan (Mishra et al., 2020). Penurunan ini disebabkan oleh berkurangnya biomassa hidup dan masukan serasah ke dalam tanah, yang mengurangi akumulasi karbon organik tanah, Di Jerman, alih fungsi lahan gambut menjadi pertanian juga menunjukkan hilangnya kapasitas simpan karbon hingga setengah dari nilai alami sebelum alih fungsi (H. Liu et al., 2022).

Konflik yang sering kali muncul akibat alih fungsi lahan khususnya ketika adanya penggunaan lahan baru yang mengorbankan lahan sebelumnya seperti lahan pertanian atau hutan bagi masyarakat lokal. Selain hal tersebut, ketidaksetaraan dalam kepemilikan lahan dan akses sumber daya dapat menimbulkan konflik. Dimana orang atau kelompok yang lebih kaya menguasai lahan yang lebih banyak (Zaky & Maryunani, 2023).

Untuk menangani alih fungsi lahan, diperlukan pendekatan yang menyeluruh dan berkelanjutan. Untuk menjamin pengelolaan lahan yang berkelanjutan, kebijakan integratif yang mempertimbangkan faktor sosial, ekonomi, dan lingkungan sangat penting. Program reboisasi, pengelolaan lahan terpadu, dan penegakan hukum yang ketat terhadap alih fungsi lahan yang tidak berkelanjutan dapat mengurangi efek negatif alih fungsi lahan (Winkler et al., 2021).

2.2 Stok Karbon

Stok karbon terdiri dari akumulasi karbon tersimpan dalam biomassa di atas dan di bawah tanah, tanah, serta bahan organik mati (Liang et al., 2021). Stok karbon yang tersedia dalam ekosistem daratan merupakan bagian penting dari penyimpanan karbon global yang berkontribusi pada mitigasi perubahan iklim (Liang et al., 2021). Karbon disimpan dalam bentuk karbon dioksida (CO₂) yang diserap melalui proses fotosintesis oleh tanaman, yang kemudian disimpan dalam jaringan tanaman dan tanah (Kurniawati, 2021). Jumlah karbon ini sangat penting untuk mengurangi konsentrasi karbon di atmosfer, yang secara langsung berkontribusi pada pengendalian perubahan iklim (Zhu et al., 2021). Oleh sebab itu, memahami stok karbon sangat penting untuk strategi mitigasi yang berhasil. Terdapat panduan teknis mengenai perhitungan garis dasar emisi dan penyerapan gas rumah kaca di sektor berbasis lahan yang dapat dirujuk pada tabel berikut.

Tabel 2.1 Estimasi Stok Karbon

Jenis Lahan	Cadangan Karbon (Ton C/Ha)	Referensi
Hutan Lahan Kering Primer	195	World Agroforestry Centre (2011); Prasetyo dkk. (2000); Laumonier dkk. (2010); IPCC (2006) for Tropical rainforest; Harja dkk. (2011) dengan nilai cadangan karbon berturut-turut 300, 252, 180, 150, 121 dan 93 t/ha
Hutan Lahan Kering Sekunder	169	World Agroforestry Centre (2011) untuk hutan sekunder berkerapatan tinggi; Rahayu dkk. (2005); IPCC (2006) for tropical Asia; Saatchi dkk. (2011); Harja dkk. (2011) dengan nilai berturut-turut 250, 203, 180, 158, 150 dan 74 t/ha
Hutan Mangrove Primer	170	Komiyama dkk. (2008)
Hutan Rawa Primer	196	MoF (2008), IFCA
Hutan Tanaman	54	World Agroforestry Centre (2011) tanah mineral 70 t/ha, tanah gambut 60 t/ha
Semak Belukar	30	IPCC (2006); Istomo dkk. (2006); Jepson (2006); World Agroforestry Centre (2011) berturut-turut 35, 30, 20 dan 27 t/ha

Jenis Lahan	Cadangan Karbon (Ton C/Ha)	Referensi
Perkebunan	63	Palm dkk. (1999) perkebunan karet (89 t/ha); Rogi (2002) kelapa sawit (60 t/ha); van Noordwijk (2010) kelapa sawit (40 t/ha)
Permukiman	4	World Agroforestry Centre (2011)
Tanah Terbuka	2,5	Asumsi
Padang Rumput	4	Rahayu dkk. (2005)
Hutan Mangrove Sekunder	120	Komiyama dkk. (2008)
Hutan Rawa Sekunder	155	MoF (2008)
Belukar Rawa	30	Diasumsikan sama dengan belukar di lahan kering
Pertanian Lahan Kering	10	Hashimoto dkk. (2000), Murdiyarso dan Wasrin (1996); World Agroforestry Centre (2011) berturut-turut 12.5; 10 dan 8 t/ha
Pertanian Lahan Kering Campur	10	Rahayu dkk. (2005)
Sawah	2	Palm dkk. (1999)
Tambak	-	Asumsi
Bandara/Pelabuhan	-	Asumsi
Transmigrasi	-	BAPPENAS (2010), diasumsikan bahwa sebagian area dialokasikan untuk pertanian campuran
Pertambangan	-	Asumsi
Rawa	-	Asumsi

Sumber: (Haruni et al., 2015)

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi stok karbon yakni, alih fungsi lahan, degradasi hutan, pertanian, serta kebijakan perlindungan ekologis (Liang et al., 2021). Alih fungsi lahan hutan menjadi lahan pertanian atau lahan pertanian menjadi permukiman dapat menyebabkan penurunan yang cukup besar stok karbon (Ponce et al., 2018). Alih fungsi lahan dan deforestasi dapat mengurangi kemampuan ekosistem dalam menyimpan karbon sedangkan pengelolaan hutan yang baik dapat meningkatkan stok karbon (Althoff et al., 2018). Lebih dari 95% penurunan stok karbon tanah di Inggris disebabkan oleh perubahan penggunaan lahan, hal ini juga berlaku di wilayah Tiongkok yang lembap, di mana peningkatan populasi dan lahan pertanian berdampak negatif pada stok karbon (Zhu et al., 2021).

Degradasi hutan menyebabkan rusaknya vegetasi, yang merupakan sumber utama karbon dalam ekosistem, degradasi hutan mengurangi kemampuan hutan untuk menyimpan karbon (Kurniawati, 2021; Zhu et al., 2021). Sejalan dengan (Fernandes et al., 2020), dampak degradasi hutan menyebabkan penurunan stok karbon dan menimbulkan dampak negative pada kualitas lingkungan seperti mengurangi kesuburan tanah dan meningkatnya emisi gas rumah kaca. Kebijakan yang mendukung perlindungan dan restorasi ekosistem juga dapat meningkatkan

kapasitas suatu daerah untuk menyimpan karbon, menekankan pentingnya penerapan kebijakan yang baik (Zheng & Zheng, 2023).

Alih fungsi lahan merupakan manifestasi langsung dari aktivitas manusia yang mempengaruhi siklus karbon. Alih fungsi ini menyebabkan peningkatan karbon oksida (CO_2) dioksida di atmosfer dan pemanasan global memengaruhi siklus karbon ekosistem daratan, yang mengubah proses biogeokimia dan sirkulasi materi di permukaan bumi (Liang et al., 2021). Distribusi vegetasi yang berubah dapat secara signifikan mengurangi stok karbon, penting untuk memahami dampak dari perubahan penggunaan lahan, terutama di wilayah yang mengalami alih fungsi lahan yang intensif (Zhu et al., 2021). Vegetasi merupakan penyerap karbon oksida (CO_2) utama dalam ekosistem, kerusakan atau perubahan pada vegetasi dapat menyebabkan penurunan stok karbon, dengan kehilangan vegetasi, kapasitas penyimpanan karbon ekosistem juga berkurang secara signifikan (Kurniawati, 2021).

Pemulihan lahan yang terdegradasi dapat meningkatkan stok karbon secara signifikan. Hal ini tidak hanya membantu penyerapan karbon tetapi juga memulihkan biodiversitas dan meningkatkan layanan ekosistem lainnya (Nunez et al., 2020). Praktik seperti pengolahan tanah tanpa bajak, rotasi tanaman, dan sistem integrasi tanaman-sapi dapat meningkatkan penyerapan karbon dalam tanah, menjadikannya sebagai penyimpan karbon yang lebih efektif (Dionizio et al., 2020). Perlindungan dan reforestasi hutan saat ini dapat berkontribusi besar terhadap peningkatan stok karbon di seluruh dunia (Achmad et al., 2023). Selain itu penilaian stok karbon yang akurat sangat penting untuk memahami dampak kebijakan penggunaan lahan dan strategi konservasi terhadap perubahan iklim dan keberlanjutan ekosistem (Liang et al., 2021). Untuk mencapai tujuan pengurangan emisi karbon, sangat penting untuk menerapkan kebijakan yang mendukung perlindungan hutan dan pengelolaan lahan yang berkelanjutan, kebijakan ini dapat mencakup penetapan kawasan konservasi dan insentif untuk praktik pertanian ramah lingkungan (Zheng & Zheng, 2023).

2.3 Sekuestrasi Karbon

Green carbon adalah karbon yang tersimpan dalam ekosistem terestrial, terutama hutan, agroforestri, dan lahan pertanian. Ekosistem ini menyerap karbon dioksida (CO_2) melalui fotosintesis dan menyimpannya dalam biomassa tanaman serta tanah, sehingga berperan sebagai penyerap karbon utama dalam mitigasi perubahan iklim (He et al., 2023). Sebaliknya, blue carbon merujuk pada karbon yang tersimpan dalam ekosistem pesisir dan laut, seperti hutan mangrove, padang lamun, dan rawa payau. Ekosistem pesisir ini menyimpan karbon dalam biomassa vegetasi dan sedimen, dengan stabilitas penyimpanan yang sering kali lebih tinggi dibandingkan green carbon, bahkan mampu bertahan hingga ribuan tahun (Hilmi et al., 2021).

Perhatian terhadap blue carbon meningkat sejak 2009, ketika terbukti bahwa ekosistem pesisir, khususnya mangrove, mampu menyimpan karbon hingga empat kali lebih banyak dibandingkan hutan tropis per hektar (Indriyani et al., 2020). Di Asia Tenggara, mangrove dapat menyimpan 800-1.200 ton karbon per hektar, dengan sebagian besar tersimpan dalam sedimen bawah permukaan (Rizkiyani et al., 2024). Padang lamun, misalnya di Bintan, memiliki kapasitas penyimpanan karbon mencapai 2.431 ton per ekosistem (He et al., 2023). Jika dibandingkan, hutan tropis menyimpan sekitar 200-500 ton karbon per hektar, sedangkan agroforestri dan lahan pertanian memiliki potensi penyimpanan lebih rendah, berkisar 20-100 ton per hektar, tergantung jenis tanaman dan praktik pengelolaan lahan (He et al., 2023). Mangrove dan padang lamun menunjukkan kapasitas jauh lebih tinggi; mangrove di Indonesia bahkan dapat menyimpan hingga lima kali lebih banyak karbon dibandingkan hutan daratan, menekankan peran blue carbon dalam strategi mitigasi perubahan iklim regional (Adame et al., 2024).

Selain memperkirakan stok karbon yang tersimpan, pendekatan sekuestrasi karbon menjadi metode penting dalam mitigasi perubahan iklim. Bagian ini akan membahas teori sekuestrasi karbon untuk mengkaji dinamika perubahan karbon dalam skenario alih fungsi lahan. Sekuestrasi karbon adalah proses alami dan buatan yang menyerap karbon dioksida (CO₂) dari atmosfer dan menyimpannya dalam berbagai bentuk di ekosistem darat dan lautan. Proses ini berperan penting dalam mitigasi perubahan iklim, karena dapat mengurangi konsentrasi CO₂ atmosfer yang berkontribusi terhadap pemanasan global. Salah satu bentuk sekuestrasi karbon adalah karbon organik tanah (SOC), yang memiliki peran signifikan sebagai cadangan karbon jangka panjang dan berkontribusi terhadap kesuburan tanah serta stabilitas ekosistem (Nabikandi et al., 2024).

Urbanisasi dan deforestasi dapat mengurangi kapasitas penyimpanan karbon, di mana alih fungsi lahan menjadi Permukiman atau lahan industri mempercepat pelepasan karbon ke atmosfer. Sebaliknya, restorasi ekologis seperti penghijauan dan reforestasi dapat meningkatkan kapasitas sekuestrasi karbon (Nabikandi et al., 2024). Dalam penelitian di Shanghai antara 1990 hingga 2015 alih fungsi lahan telah menyebabkan penurunan stok karbon sebesar $73,19 \times 10^5$ ton, yang setara dengan 0,48% per tahun, memperburuk situasi perubahan iklim melalui pengurangan area hijau yang dapat menyerap karbon (F. Zhang et al., 2020).

Alih fungsi lahan dari pertanian menjadi hutan atau padang rumput dapat meningkatkan penyimpanan karbon dan nitrogen dalam tanah. Penyimpanan karbon dan nitrogen meningkat pada kedalaman tanah 0-10 cm setelah pengabaian lahan pertanian, dengan tipe penggunaan lahan yang berbeda menunjukkan hasil yang bervariasi tergantung pada usia restorasi. Pentingnya pemilihan jenis restorasi vegetasi untuk mencapai manfaat jangka panjang dalam penyimpanan karbon dan nitrogen (Deng et al., 2016).

Di Florida, meskipun ada perubahan signifikan dalam penggunaan lahan, tanah tetap berfungsi sebagai penampung karbon (SOC) selama lebih dari 40 tahun. Penelitian menunjukkan bahwa peningkatan area lahan basah yang kaya karbon, serta penurunan area pertanian yang memiliki kandungan karbon lebih rendah, berkontribusi pada peningkatan akumulasi karbon di tanah. Selain itu, suhu yang lebih tinggi cenderung mempercepat akumulasi SOC, sementara curah hujan yang lebih tinggi dapat memperlambat laju sequestrasi SOC (Xiong et al., 2014). Penelitian ini mengindikasikan bahwa perubahan penggunaan lahan, seperti alih fungsi lahan pertanian menjadi lahan basah, dapat mempengaruhi stok karbon secara signifikan. Oleh karena itu, pengelolaan lahan yang tepat, seperti mempertahankan atau memperluas lahan basah, dapat berkontribusi pada peningkatan kapasitas tanah dalam menyimpan karbon.

Alih fungsi lahan pertanian dapat menurunkan stok SOC, sementara alih fungsi lahan sebaliknya dapat meningkatkan stok SOC. Aforestasi di lahan pertanian yang ditinggalkan memiliki potensi besar untuk meningkatkan penyimpanan karbon, meskipun laju sequestrasi karbon bervariasi antara lokasi dan spesies pohon yang ditanam. Penelitian ini menekankan pentingnya waktu dan jenis spesies pohon untuk memaksimalkan manfaat sequestrasi karbon (Rytter & Rytter, 2020). Potensi sequestrasi karbon di bawah berbagai sistem penggunaan lahan, seperti hutan, lahan pertanian, agroforestri, dan kebun buah di wilayah arid Pakistan (Hammad et al., 2020). Hasil penelitian menunjukkan bahwa hutan memiliki potensi sequestrasi karbon tertinggi, diikuti oleh sistem agroforestri yang dapat meningkatkan akumulasi karbon dalam tanah dengan pengelolaan yang tepat.

Pentingnya sequestrasi karbon dalam mitigasi perubahan iklim semakin diakui, terutama karena ekosistem terestrial berperan signifikan dalam siklus karbon. Namun, alih fungsi lahan, seperti deforestasi dan ekspansi urban, dapat mengurangi kapasitas penyimpanan karbon dan memperburuk perubahan iklim (Adelisdou et al., 2022). Oleh karena itu, pengelolaan lahan yang berkelanjutan dan restorasi ekologis menjadi strategi penting untuk meningkatkan kapasitas sequestrasi karbon dan mengurangi dampak perubahan iklim.

Setiap jenis lahan pertanian, kebun, dan semak belukar memiliki potensi yang berbeda dalam hal sequestrasi karbon. Lahan pertanian yang dikelola dengan baik, seperti melalui teknik pertanian konservasi, memiliki potensi sequestrasi karbon yang tinggi, pertanian konservasi dengan teknik seperti pengelolaan tanaman penutup dan pengurangan pengolahan tanah dapat meningkatkan stok karbon tanah secara signifikan (Meena et al., 2019). Semak belukar walaupun mampu menyimpan karbon, memiliki kapasitas yang lebih terbatas dibandingkan dengan sistem pertanian atau agroforestry, dalam penelitian di Ethiopia menunjukkan bahwa pengelolaan padang rumput dan semak belukar secara berkelanjutan dapat meningkatkan potensi sequestrasi karbon, tetapi tetap lebih rendah dibandingkan

dengan penggunaan agroforestry (Bikila et al., 2016). Penerapan agroforestri dapat mempercepat penyerapan karbon di daerah kering, seperti di Kenya, dengan potensi sekuestrasi tahunan mencapai 24 Mg C/Ha (Rabach et al., 2020). Teknik pertanian yang mempertahankan vegetasi dan pengelolaan lahan secara berkelanjutan terbukti memiliki potensi sekuestrasi karbon yang lebih tinggi dibandingkan dengan lahan yang dibiarkan tidak terkelola.

2.4 Emisi Karbon Dari Alih Fungsi Lahan

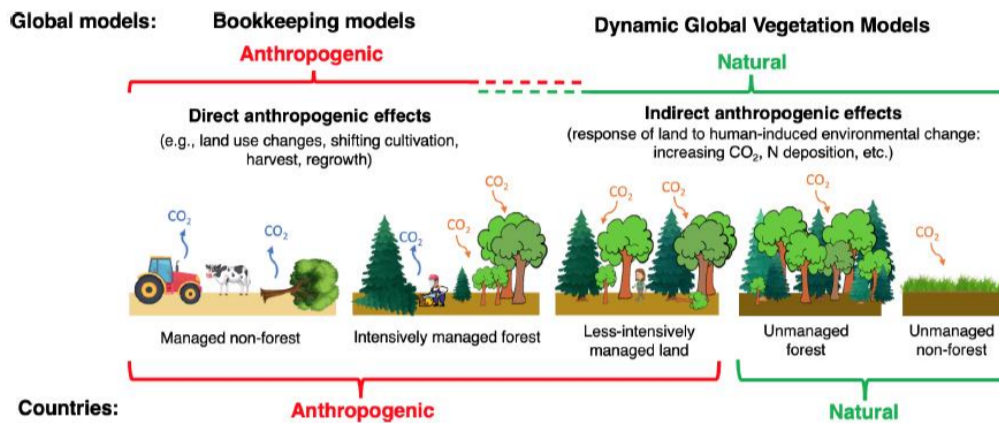
Alih fungsi lahan dari kawasan vegetatif seperti pertanian, kebun, tegalan, dan semak belukar menjadi lahan terbangun, khususnya kawasan permukiman, telah terbukti menjadi salah satu kontributor utama emisi karbon dari sistem daratan ke atmosfer. Proses ini memicu pelepasan karbon yang tersimpan dalam biomassa dan tanah dalam bentuk karbon dioksida (CO₂), dan berkontribusi secara signifikan terhadap akumulasi gas rumah kaca di atmosfer (Gasser et al., 2020). Aktivitas antropogenik seperti deforestasi, alih fungsi lahan gambut, dan ekspansi urbanisasi mempercepat gangguan terhadap cadangan karbon alami yang selama ini berperan sebagai penyerap karbon (Huang et al., 2024).

Studi global menunjukkan bahwa kontribusi alih fungsi lahan terhadap emisi karbon masih menyimpan ketidakpastian tinggi karena keterbatasan data spasial dan variasi geografis, namun data terkini menegaskan pentingnya perlindungan terhadap ekosistem yang kaya karbon seperti lahan basah dan hutan sekunder sebagai bagian dari strategi mitigasi perubahan iklim (Huang et al., 2024). Secara khusus, alih fungsi lahan basah seperti gambut dan rawa menjadi kawasan terbangun menghasilkan kehilangan karbon tanah dalam jumlah besar, diikuti kerugian ekonomi dan sosial yang tinggi. Evaluasi berbasis *social cost of carbon* menunjukkan bahwa nilai eksternal negatif dari emisi tersebut sering kali jauh melampaui manfaat ekonomi jangka pendek dari pembangunan (Mikhailova et al., 2025). Melalui pemantauan berbasis satelit, berbagai hotspot kehilangan karbon telah berhasil diidentifikasi, yang mencerminkan urgensi pengelolaan tata ruang berbasis karbon lintas negara (Tian et al., 2021).

Di Indonesia, alih fungsi lahan vegetatif menjadi kawasan terbangun juga menimbulkan tekanan besar terhadap lingkungan di Kalimantan Tengah sepanjang 2015-2025 menunjukkan kerugian ekosistem yang signifikan, terutama dalam bentuk pelepasan karbon dari hutan. Dalam skenario *business-as-usual*, emisi karbon dari kegiatan tersebut menimbulkan biaya sosial yang sangat besar, bahkan melebihi keuntungan privat dari hasil produksi. Sebaliknya, skenario campuran yang mengintegrasikan pelestarian kawasan alami dan pengembangan wilayah secara terkendali terbukti lebih efisien dalam menekan emisi karbon sambil mempertahankan nilai ekonomi dan biodiversitas (Sumarga, 2015).

Alih fungsi lahan vegetatif menjadi lahan terbangun juga berdampak pada emisi gas rumah kaca lainnya. Gangguan terhadap tanah dan hilangnya biomassa

mengakibatkan peningkatan emisi metana (CH₄) dan dinitrogen oksida (N₂O), terutama melalui pembakaran biomassa dan penggunaan pupuk nitrogen di area baru (Widiatmika, 2015; Ye & Ming, 2023). Oleh karena itu, penghitungan karbon dalam konteks tata guna lahan harus mempertimbangkan tidak hanya CO₂, tetapi juga berbagai gas rumah kaca lainnya yang turut memperparah krisis iklim (Huang et al., 2024)



Gambar 2. 1 Skema Perpindahan Karbon dari Daratan ke Atmosfer akibat Alih Fungsi Lahan
 Sumber : Grassi et al (2023)

Gambar 2.1 dari penelitian Grassi et al (2023) menjelaskan bagaimana alih fungsi lahan berdampak langsung terhadap perpindahan karbon akibat aktivitas manusia. Perpindahan ini melibatkan pelepasan gas rumah kaca (GRK) yang secara langsung disebabkan oleh tindakan manusia, seperti deforestasi, perubahan penggunaan lahan untuk pertanian, pemanenan kayu, dan pembangunan permukiman. Dalam konteks ini, transformasi vegetasi menjadi non-vegetasi menurunkan cadangan karbon secara substansial, baik dalam tanah maupun biomassa di atas permukaan.

Studi oleh global Lai et al (2016) menunjukkan bahwa perubahan tutupan lahan skala besar, khususnya alih fungsi dari pertanian atau vegetasi ke kawasan urban, merupakan faktor utama hilangnya cadangan karbon secara global. Di Tiongkok, antara tahun 2000 hingga 2020, alih fungsi lahan vegetatif menjadi kawasan terbangun mengakibatkan penurunan rata-rata cadangan karbon tanah dan vegetasi sebesar 4,95 Tg C per tahun, terutama di wilayah pesisir yang mengalami urbanisasi pesat (Zhen et al., 2023). Dampak ini mencerminkan fakta bahwa urbanisasi merupakan salah satu penyumbang terbesar terhadap peningkatan emisi karbon dari wilayah daratan.

Selanjutnya, studi terbaru oleh Wen et al (2023) memperkuat temuan tersebut dengan menunjukkan bahwa kehilangan cadangan karbon akibat transformasi semak belukar, pertanian, dan vegetasi lainnya ke kawasan permukiman bersifat akumulatif dan permanen. Proses ini mempercepat emisi karbon dan menghilangkan fungsi ekologis lahan sebagai penyimpan karbon. Oleh karena itu, alih fungsi lahan harus dipertimbangkan secara cermat dalam kebijakan pembangunan, dengan

memperhatikan implikasinya terhadap keseimbangan karbon dan keberlanjutan ekologis jangka panjang

2.5 Observasi Jarak Jauh

Teknik observasi jarak jauh menggunakan radiasi elektromagnetik yang dipancarkan, dipantulkan, atau diterima oleh objek di permukaan bumi untuk mengidentifikasi dan menganalisis objek atau fenomena dari jarak jauh. Observasi jarak jauh melibatkan pengumpulan data spektral dari berbagai sumber, seperti satelit, pesawat terbang, dan drone. Karakteristik fisik dan kimia objek yang diamati kemudian dipelajari melalui analisis data spektral tersebut. Observasi jarak jauh merupakan alat penting untuk penelitian dan pengelolaan lingkungan karena metode ini memiliki banyak manfaat, termasuk pemetaan geologi, pengelolaan sumber daya alam, dan pemantauan lingkungan (Rusydi dan Masitoh, 2023).

Perkembangan dalam teknologi sensor telah membawa revolusi dalam kemampuan observasi jarak jauh. Saat ini, sensor mampu menangkap data pada panjang gelombang yang berbeda, mulai dari inframerah hingga gelombang mikro, yang memungkinkan deteksi dan analisis berbagai fenomena dengan tingkat detail yang belum pernah ada sebelumnya. Selain itu, resolusi temporal, spektral, dan spasial dari data observasi jarak jauh telah meningkatkan proses interpretasi dan analisis lingkungan (Nugroho, 2021). Sistem Informasi Geografis (SIG) membantu memvisualisasikan, memodelkan, dan menganalisis data ruang yang diperoleh dari observasi jauh. SIG memungkinkan pengguna menggabungkan data dari berbagai sumber dan memetakan pola dan tren yang kompleks. Google Earth adalah situs web berbasis cloud computing (pemberian layanan melalui internet) yang dikembangkan oleh Google. Google Earth muncul sebagai platform inovatif yang memanfaatkan penginderaan jauh dan komputasi cloud untuk memproses dan menganalisis sejumlah besar data geospasial.

Observasi jarak jauh telah berkembang menjadi alat yang sangat penting untuk pemantauan dan analisis tutupan lahan, memberikan kemampuan untuk mengukur dan memetakan perubahan tutupan lahan pada skala global, regional, dan lokal (Nur dan Mulyadi, 2023). Teknologi ini memungkinkan para peneliti dan pengambil kebijakan untuk memantau berbagai jenis tutupan lahan, termasuk hutan, lahan pertanian, badan air, dan permukiman, dengan menggunakan data yang dikumpulkan dari sensor yang terpasang pada platform udara atau satelit. Observasi jarak jauh memiliki kemampuan untuk mencapai lokasi yang sulit diakses atau berbahaya, seperti hutan lebat atau wilayah terpencil. Ini memungkinkan untuk menganalisis perubahan tutupan lahan yang disebabkan oleh aktivitas manusia dan fenomena alam (Hasan dan Ibrahim Fattah, 2020). Penelitian ini juga menyoroti pentingnya teknologi penginderaan jauh (*Remote Sensing*) untuk memantau dinamika alih fungsi lahan dan perubahan karbon secara spasial dan temporal (Nabikandi et al., 2024).

Data ini sangat berguna dalam menyusun strategi mitigasi berbasis ekosistem dan memperkuat kebijakan perlindungan lingkungan. Penggabungan data observasi jarak jauh dengan model spasial dan teknologi satelit baru telah meningkatkan resolusi temporal dan spasial data observasi jarak jauh, sehingga meningkatkan akurasi dan efektivitas pemantauan tutupan lahan. Sensor dengan spesifikasi tinggi ini dapat mendeteksi variasi kecil dalam tutupan lahan, memberikan informasi penting untuk analisis dampak perubahan tutupan lahan dan evaluasi kebijakan pengelolaan lahan.

2.6 Korelasi Alih Fungsi Lahan Dengan Stok Karbon

Dalam penelitian lingkungan dan perubahan iklim, korelasi antara alih fungsi lahan menjadi Permukiman dan stok karbon telah menjadi perhatian penting. Penelitian menunjukkan bahwa alih fungsi lahan, terutama alih fungsi lahan menjadi Permukiman, dapat menyebabkan hilangnya stok karbon yang signifikan. (Zhou et al., 2020) menemukan bahwa karena tutupan vegetasi yang berkurang, urbanisasi berkontribusi pada penurunan kemampuan ekosistem untuk menyimpan karbon.

Alih fungsi lahan juga berdampak langsung pada siklus karbon karena mengurangi biomassa pohon yang menyimpan karbon. Dalam penelitian (Hasan et al., 2020) menjelaskan bahwa perubahan penggunaan lahan sering menyebabkan penurunan stok karbon yang terakumulasi dalam vegetasi dan tanah. Ketika lahan alami seperti hutan diubah menjadi lahan pertanian atau Permukiman, proses ini menghasilkan emisi karbon dioksida yang lebih tinggi ke atmosfer (Regasa, 2021).

Selain itu, (Jong et al., 2021) menekankan bahwa mengubah hutan menjadi lahan pertanian atau Permukiman menyebabkan penurunan stok karbon serta kehilangan habitat, yang berkontribusi pada peningkatan emisi karbon. Dalam penelitian (Winkler et al., 2021) menunjukkan bahwa deforestasi pertanian menyebabkan peningkatan konsentrasi karbon dioksida di atmosfer, yang menyebabkan perubahan iklim menjadi lebih buruk.

Peningkatan kepadatan penduduk dan praktik pertanian yang tidak berkelanjutan adalah komponen tambahan yang memengaruhi hubungan ini. Dalam penelitian (Regasa, 2021) menyatakan bahwa peningkatan permintaan pangan sering menyebabkan alih fungsi lahan, yang berdampak negatif terhadap stok karbon. Sejalan dengan itu, (Briassoulis, 2019) juga menekankan bahwa kualitas tanah sangat penting; tanah yang subur dan penuh bahan organik memiliki kapasitas penyimpanan karbon yang lebih tinggi daripada tanah yang telah terdegradasi.

Alih fungsi lahan, semak belukar menjadi kebun atau permukiman, dapat berdampak signifikan pada perubahan stok karbon. Semak belukar yang secara alami memiliki stok karbon relatif rendah, ketika diubah menjadi lahan pertanian atau permukiman, sering kali mengalami penurunan stok karbon yang lebih besar (Li et al., 2021). Di kawasan Loess Plateau, Tiongkok, alih fungsi lahan pertanian menjadi semak belukar tidak berkontribusi secara signifikan terhadap peningkatan

stok karbon tanah, hal ini menunjukkan bahwa jenis lahan yang lebih padat seperti hutan memiliki kemampuan lebih besar untuk menyimpan karbon dibandingkan semak belukar (Liu et al., 2023). Pengelolaan yang baik dalam alih fungsi lahan semak belukar menjadi agroforestri atau kebun dapat membantu memitigasi kehilangan karbon, meskipun tetap ada penurunan dibandingkan dengan hutan alami (Zhu et al., 2023). Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan potensi stok karbon tanah saat merencanakan perubahan penggunaan lahan agar dampaknya terhadap karbon dapat diminimalisasi.

2.7 Kebijakan Tata Ruang dan RTRW

Tata ruang adalah cara mengatur dan mengelola ruang secara menyeluruh agar penggunaannya berjalan optimal dan berkelanjutan. Pengaturan ini tidak hanya melibatkan aspek fisik, seperti pembagian lahan, tetapi juga memperhatikan aspek sosial, ekonomi, dan lingkungan (Ismail, 2019). Tujuannya adalah supaya pembangunan dapat berjalan seimbang dan adil bagi semua pihak. Salah satu bentuk pengaturan tata ruang yang penting adalah Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW). RTRW merupakan dokumen perencanaan strategis yang dibuat pada berbagai tingkat pemerintahan, mulai dari nasional hingga kabupaten/kota, sebagai pedoman dalam mengelola dan mengembangkan wilayah agar pembangunan tidak merusak lingkungan dan tetap membawa manfaat bagi masyarakat (Ismail, 2019).

Kebijakan tata ruang memiliki peran yang sangat penting sebagai landasan untuk mengatur penggunaan lahan. Dengan kebijakan ini, diharapkan konflik antar pengguna lahan bisa diminimalkan dan ekosistem yang ada tetap terjaga (Ismail, 2019). Fungsi utama tata ruang adalah memastikan pembangunan berjalan terpadu dan selaras antara aspek fisik, sosial, dan lingkungan. Tujuan akhirnya adalah agar pemanfaatan ruang sesuai dengan fungsinya, pembangunan tidak merusak alam, dan kesejahteraan masyarakat bisa meningkat secara merata dan adil (Ismail, 2019).

RTRW sendiri memiliki peran strategis dalam mengarahkan penggunaan lahan sesuai dengan karakteristik dan potensi wilayah. Lewat RTRW, pemerintah dapat mengendalikan pertumbuhan wilayah, menentukan zona-zona penggunaan lahan, seperti untuk permukiman, industri, konservasi, dan pertanian. Selain itu, RTRW juga memberikan landasan hukum yang kuat agar pengelolaan dan pengawasan tata ruang berjalan efektif. Tak kalah penting, RTRW membuka ruang bagi partisipasi masyarakat dan berbagai pihak terkait dalam perencanaan tata ruang, sehingga pembangunan yang dilakukan dapat inklusif dan berkelanjutan (Susiani, 2020).

Peraturan Daerah (Perda) memegang peranan penting dalam pelaksanaan RTRW di tingkat kabupaten, termasuk Kecamatan Labuapi. Perda RTRW ini menjadi panduan utama bagi pemerintah daerah, masyarakat, dan pelaku usaha dalam mengelola ruang wilayah secara terpadu dan berkelanjutan. Dengan Perda tersebut, pembangunan bisa diarahkan dengan lebih terencana sehingga

keseimbangan antara aspek sosial, ekonomi, dan lingkungan tetap terjaga (Pemerintah Kabupaten Lombok Barat, 2011).

Peta zonasi tata ruang menjadi salah satu alat utama dalam pelaksanaan RTRW. Peta ini menggambarkan pembagian wilayah berdasarkan fungsi dan peruntukannya, yang terdiri dari beberapa jenis zonasi seperti permukiman, lindung, dan budidaya. Zonasi permukiman biasanya diperuntukkan sebagai tempat tinggal dan kegiatan pendukungnya, sementara zona lindung berfungsi untuk menjaga kelestarian lingkungan seperti hutan dan kawasan rawan bencana. Sedangkan zona budidaya dipakai untuk kegiatan produktif seperti pertanian dan perkebunan, tentunya dengan memperhatikan daya dukung lingkungan (Pemerintah Provinsi Nusa Tenggara Barat, 2024).

Penetapan batas administratif wilayah menjadi dasar dalam menentukan ruang lingkup tata ruang yang akan diatur. Di Kecamatan Labuapi, batas wilayah administratif sudah ditetapkan secara jelas, lengkap dengan peta zonasi resmi yang mencakup wilayah darat dan perairan. Peta ini berfungsi sebagai acuan dalam membuat kebijakan pemanfaatan ruang serta pengendalian pemanfaatan lahan sesuai fungsinya (Pemerintah Provinsi Nusa Tenggara Barat, 2024).

Pemerintah daerah bertanggung jawab untuk menjalankan mekanisme pelaksanaan dan pengawasan RTRW. Proses ini meliputi perencanaan, pemanfaatan, dan pengendalian penggunaan ruang agar sesuai dengan peraturan yang berlaku. Selain itu, pengawasan juga melibatkan peran serta masyarakat sebagai pengawas sosial, supaya tata ruang tetap tertib dan terhindar dari pelanggaran (Pemerintah Provinsi Nusa Tenggara Barat, 2024).

Aspek lingkungan juga menjadi perhatian penting dalam kebijakan tata ruang, khususnya dalam pengelolaan kawasan hijau dan zona lindung di Kecamatan Labuapi. Pemerintah mengatur alokasi ruang terbuka hijau minimal 30% di kawasan perkotaan sebagai penyangga ekologis. Selain menjaga keseimbangan alam, kawasan hijau ini juga berperan penting dalam meningkatkan kualitas hidup warga. Perlindungan habitat dan konservasi sumber daya alam menjadi bagian dari upaya pembangunan berkelanjutan (Pemerintah Kabupaten Lombok Barat, 2011).

Terakhir, Perda juga mengatur secara detail aspek teknis zonasi dan tata guna lahan. Hal ini mencakup pengklasifikasian kawasan, prosedur perizinan, serta pengaturan insentif dan disinsentif untuk mendorong pemanfaatan ruang yang sesuai aturan. Tujuannya agar pembangunan dan aktivitas sosial-ekonomi dapat berlangsung tanpa mengorbankan kelestarian lingkungan dan ketertiban tata ruang (Pemerintah Provinsi Nusa Tenggara Barat, 2024).

2.8 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu terkait alih fungsi lahan antara lain:

1. Perbandingan Stok Karbon Berbasis Penggunaan Lahan dan Rencana Pola Ruang pada Wilayah Perencanaan III Kota Singkawang (Selvia et al., 2023).
Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan stok karbon berdasarkan kelas penggunaan lahan eksisting dan rencana pola ruang di Wilayah Perencanaan III Kota Singkawang. Metode yang digunakan meliputi analisis data sekunder dari Citra Satelit Resolusi Tinggi (CSRT) Pleides tahun 2018 dan konversi data karbon berdasarkan standar Direktorat Jenderal Planologi Kehutanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat penurunan stok karbon sebesar 1,3% dari 236.224,78 ton C pada penggunaan lahan eksisting menjadi 233.267,15 ton C pada rencana pola ruang. Temuan ini menekankan pentingnya mempertimbangkan aspek keberlanjutan dalam perencanaan tata ruang untuk mengurangi emisi karbon di daerah perkotaan.
2. The effects of land cover change on carbon stock dynamics in a dry Afromontane forest in northern Ethiopia (Solomon et al., 2018).
Penelitian ini mengeksplorasi dampak perubahan penutupan lahan terhadap dinamika stok karbon di Hutan Wujig Mahgo Waren, sebuah hutan Afromontane kering yang mencakup area seluas 17.000 ha di Ethiopia utara. Metode yang digunakan adalah pendekatan multidisipliner yang menggabungkan citra satelit Landsat dengan survei lapangan untuk mengestimasi total stok karbon. Hasil penelitian menunjukkan bahwa stok karbon total hutan pada tahun 1985, 2000, dan 2016 masing-masing adalah 1951, 1999, dan 1955 GgC. Stok karbon rata-rata di hutan lebat, hutan terbuka, padang rumput, lahan pertanian, dan lahan telanjang diperkirakan masing-masing sebesar $181,78 \pm 27,06$, $104,83 \pm 12,35$, $108,77 \pm 6,77$, $76,54 \pm 7,84$, dan $83,11 \pm 8,53$ MgC ha⁻¹. Penelitian ini menekankan pentingnya pengelolaan hutan untuk meningkatkan potensi mitigasi perubahan iklim di wilayah tersebut.
3. Integrated assessment of land-use/land-cover dynamics on carbon storage services in the Loess Plateau of China from 1995 to 2050 (Liang et al., 2021).
Penelitian ini meneliti dampak alih fungsi lahan terhadap layanan penyimpanan karbon di Plateau Loess, Tiongkok, dari tahun 1995 hingga 2050. Metode yang digunakan mencakup model Markov-CA untuk menganalisis dinamika alih fungsi lahan masa lalu dan proyeksi masa depan di bawah berbagai skenario sosio-ekonomi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa skenario prioritas ekologis dapat meningkatkan penyimpanan karbon sebesar 11,36 Pg antara 2015 dan 2050, terutama melalui peningkatan kapasitas penyimpanan karbon di padang rumput, hutan semak, dan hutan konifer abadi. Penelitian ini menekankan pentingnya restorasi ekologi dalam meningkatkan penyerapan karbon, serta perlunya strategi jangka panjang untuk konservasi ekosistem di wilayah tersebut.
4. Pemanfaatan Penginderaan Jauh Untuk Pemetaan Alih Fungsi Lahan Sawah di Kabupaten Nganjuk (Nila et al., 2024).

Penelitian ini berfokus pada pemanfaatan penginderaan jauh untuk menganalisis alih fungsi lahan sawah di Kabupaten Nganjuk. Metode yang digunakan meliputi pemrosesan citra satelit Sentinel-2A dengan teknik klasifikasi terawasi (supervised classification) menggunakan Google Earth Engine dan QGIS. Hasil penelitian menunjukkan penurunan luas lahan sawah sebesar 14.500 ha antara tahun 2016 dan 2022, sementara lahan terbangun meningkat sebesar 5.900 ha. Penelitian ini menyoroti dampak perubahan fungsi lahan terhadap sektor pertanian dan ketersediaan pangan lokal serta nasional.

5. Pemetaan Perubahan Lahan Sawah Kabupaten Sukabumi Menggunakan Google Earth Engine (Siska et al., 2022).

Penelitian ini berfokus pada identifikasi perubahan penggunaan lahan sawah di Kabupaten Sukabumi dengan memanfaatkan Google Earth Engine (GEE). Metode yang digunakan adalah klasifikasi menggunakan algoritma Random Forest (RF) pada citra Landsat 5 dan Landsat 8 yang telah melalui proses pra-pemrosesan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lahan sawah mengalami penyusutan seluas 10,317.27 ha selama sepuluh tahun (2010-2020). Klasifikasi penggunaan lahan menghasilkan peta dengan akurasi tinggi, dengan nilai Overall Accuracy (OA) di atas 85%. Temuan ini mengindikasikan perlunya strategi perencanaan untuk mengatasi kerawanan pangan di wilayah tersebut.

6. Alih Fungsi Lahan di Kawasan Pariwisata Nusa Penida (Sudipa et al., 2020).

Penelitian ini berfokus pada perubahan penggunaan lahan di Kawasan Pariwisata Nusa Penida dari tahun 2003 hingga 2019. Metode yang digunakan meliputi analisis tumpang susun peta Google dan citra satelit Quick Bird untuk mengidentifikasi alih fungsi lahan akibat perkembangan pariwisata. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alih fungsi lahan mencapai 164,84 ha dengan laju alih fungsi sebesar 0,85%. Pembangunan akomodasi pariwisata yang masif berkontribusi terhadap penyusutan lahan pertanian dan perubahan lingkungan, menekankan pentingnya pengelolaan yang berkelanjutan di kawasan tersebut.

7. Urban Land Use and Land Cover Change Analysis Using Random Forest Classification of Landsat Time Series (Amini et al., 2022).

Penelitian ini berfokus pada analisis perubahan penggunaan lahan dan alih fungsi lahan di wilayah perkotaan dengan menggunakan data waktu seri Landsat dari tahun 1985 hingga 2019. Metode yang digunakan adalah klasifikasi citra satelit menggunakan algoritma Random Forest (RF) dalam platform Google Earth Engine (GEE). Penelitian ini juga mengeksplorasi penggunaan algoritma pan-sharpening untuk meningkatkan resolusi spasial citra multispektral dari Landsat, serta memanfaatkan data tambahan seperti model elevasi digital (DEM) dan suhu permukaan tanah (LST) untuk meningkatkan akurasi klasifikasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode yang diusulkan menghasilkan akurasi keseluruhan sebesar 94.438%, jauh lebih tinggi dibandingkan dengan peta alih fungsi lahan

Copernicus Global Land Cover Layers (CGLCL) yang hanya mencapai 84.4%. Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan dalam pemetaan dan analisis perubahan LULC di area perkotaan menggunakan data penginderaan jauh.

8. Recent Applications of Landsat 8/OLI and Sentinel-2/MSI for Land Use and Land Cover Mapping: A Systematic Review (Chaves et al., 2020).

Penelitian ini mengkaji aplikasi terbaru dari data Landsat 8 Operational Land Imager (L8/OLI) dan Sentinel-2 MultiSpectral Instrument (S2/MSI) dalam pemetaan penggunaan lahan dan alih fungsi lahan. Metode yang digunakan mencakup penginderaan jauh dengan analisis data time series untuk mengidentifikasi perubahan dalam penggunaan lahan akibat aktivitas manusia dan proses alami. Penelitian ini menyoroti potensi penggunaan indeks vegetasi yang lebih sensitif oleh kombinasi pita spektral, khususnya pita Red-edge dan Near Infrared dari S2/MSI, untuk mendeteksi variasi fenologis. Hasil menunjukkan bahwa integrasi data dari kedua sensor memungkinkan pemetaan yang lebih akurat dan tepat waktu, terutama dalam konteks pertanian dan vegetasi alami, serta memberikan wawasan baru mengenai dinamika lanskap yang kompleks.

9. Exploring carbon storage and sequestration as affected by land use/land cover changes toward achieving sustainable development goals(Nabikandi et al., 2024)

Penelitian ini bertujuan untuk memahami dampak perubahan penggunaan/penutupan lahan (LULC) terhadap penyimpanan karbon total (C_t) dan penyerapan karbon (C_{seq}) di kota Azarshahr, Iran, yang mengalami intensifikasi urban. Metode yang digunakan meliputi model CA-Markov untuk memprediksi perubahan LULC antara tahun 2013 dan 2033, serta model InVEST untuk menghitung C_t dan C_{seq} di empat kolam karbon: karbon di atas tanah (AGC), karbon di bawah tanah (BGC), karbon organik mati (DeOC), dan karbon organik tanah (SOC). Hasil penelitian menunjukkan bahwa alih fungsi lahan dari pertanian dan lahan kosong menjadi lahan terbangun berkontribusi terhadap peningkatan emisi karbon dan penurunan C_{seq}. Selain itu, penurunan total karbon sebesar 160,823 Mg (sekitar 25%) tercatat antara tahun 2013 dan 2023. Rekomendasi strategi pengelolaan yang diusulkan adalah penerapan kebijakan pengembangan berkelanjutan untuk mempertahankan ruang hijau dan meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan.

10. The Impact of Land Use Changes on Carbon Flux in the World's 100 Largest Cities ((Lyu et al., 2023)

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak perubahan penggunaan lahan terhadap fluks karbon di 100 kota terbesar di dunia selama periode 2013 hingga 2022. Metode yang digunakan meliputi analisis data tutupan lahan tahunan berbasis citra Landsat 8 (resolusi 30 m) dengan parameter stok karbon dari IPCC untuk berbagai zona iklim. Data diolah menggunakan teknik regresi multivariat untuk mengevaluasi hubungan antara perubahan tutupan lahan dan perubahan stok

karbon. Hasil penelitian menunjukkan bahwa urbanisasi menyebabkan penurunan stok karbon lebih dari 112 juta ton akibat deforestasi dan alih fungsi lahan pertanian menjadi area terbangun. Kota seperti Kolkata, Chongqing, dan Guangzhou menunjukkan penurunan stok karbon terbesar, sedangkan beberapa kota seperti Xi'an dan Beijing mencatat peningkatan stok karbon akibat reboisasi. Rekomendasi yang diusulkan mencakup pengelolaan urban yang fokus pada perlindungan hutan, reboisasi, dan pengendalian ekspansi kota untuk meningkatkan stok karbon dan mendukung keberlanjutan lingkungan.

Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian	Tujuan	Jenis Data	Tipe Data	Sumber Data	Teknik Analisis	Luaran yang diharapkan
(Selvia dkk., 2023)	Membandingkan stok karbon berdasarkan kelas penggunaan lahan eksisting dan rencana pola ruang di Wilayah Perencanaan III Kota Singkawang	Citra satelit resolusi tinggi (CSRT) Pleides, Data Stok Karbon, Data Rencana Pola Ruang	Data Kuantitatif dan Data Kualitatif	Citra Satelit Resolusi Tinggi (CSRT) Pleides Tahun 2018, Dokumen Materi Teknis RDTR WP III Kota Singkawang, Standar Direktorat Jenderal Planologi Kehutanan	ArcGIS untuk digitasi citra satelit, Perhitungan Stok Karbon, Analisis Perbandingan	Perbandingan stok karbon antara penggunaan lahan eksisting dan rencana pola ruang, Strategi untuk mitigasi emisi karbon dan pengelolaan penggunaan lahan yang berkelanjutan
(Solomon dkk., 2018)	Mengestimasi perubahan stok karbon akibat perubahan tutupan hutan selama 30 tahun terakhir.	Data stok karbon, Data tutupan lahan, Data vegetasi	Data kuantitatif dan Data kualitatif	Citra satelit Landsat, Survei langsung, Literatur	Analisis varians satu arah (ANOVA), Regresi linier berganda, model semivariogram eksponensial	Estimasi stok karbon yang akurat untuk berbagai tipe tutupan lahan di hutan Wujig Mahgo Waren
(Liang dkk., 2021)	Dampak alih fungsi lahan terhadap layanan penyimpanan karbon di Plateau Loess, Tiongkok, dari tahun 1995 hingga 2050	Data Alih fungsi Lahan, Data Iklim, Data Sosioekonomi, Data Geospasial	Peta Alih Fungsi Lahan, iklim, sekunder	European Space Agency (ESA) Climate Change Initiative (CCI), National Meteorological Information Center (NMIC), Data Center for Resources and Environmental Sciences (DCRES), Chinese Academy of Sciences, National Geomatics Center of China (NGCC)	Model Markov-CA, Model InVEST, Analisis Statistik, Pemetaan Hotspot	Memperoleh estimasi penyimpanan karbon di Plateau Loess hingga tahun 2050

Penelitian	Tujuan	Jenis Data	Tipe Data	Sumber Data	Teknik Analisis	Luaran yang diharapkan
(Nila dkk., 2024)	Pemanfaatan penginderaan jauh untuk menganalisis alih fungsi lahan sawah di Kabupaten Nganjuk	Citra satelit (Sentinel-2A) dan Shapefile wilayah Kabupaten Nganjuk	citra satelit dan shapefile	Citra Sentinel-2A tahun (2016, 2019, dan 2022), Shapefile Kabupaten Nganjuk, Data statistik dari Badan Pusat Statistik Kabupaten Nganjuk	Google Earth Engine, Qgis, klasifikasi terawasi, confusion matrix	penggunaan lahan yang menunjukkan alih fungsi lahan sawah dan analisis perubahan luas lahan sawah antara tahun 2016-2022
(Siska dkk., 2022)	Identifikasi perubahan penggunaan lahan sawah di Kabupaten Sukabumi dengan memanfaatkan Google Earth Engine	Citra satelit Landsat 5 (tahun 2010), Citra satelit Landsat 8 (tahun 2015 dan 2020), Peta RBI digital skala 1:50.000	Data citra satelit dan Data geospasial	Citra Landsat dan Badan Informasi Geospasial	Random Forest, Penilaian akurasi, stratified random sampling	Peta akurasi tinggi mengenai perubahan penggunaan lahan sawah di Kabupaten Sukabumi Informasi mengenai luas lahan sawah yang mengalami penyusutan dalam rentang waktu 2010-2020
(Sudipa dkk., 2020)	perubahan penggunaan lahan di Kawasan Pariwisata Nusa Penida dari tahun 2003 hingga 2019	Peta Google (tahun 2003) dan Citra satelit Quick Bird (tahun 2019)	Data peta geospasial dan Data citra satelit	Badan Informasi Geospasial dan Peta Google	Metode analisis tumpang susun (overlay) Analisis spasial untuk menghitung laju alih fungsi lahan	Peta perubahan penggunaan lahan di Kawasan Nusa Penida Informasi mengenai luas lahan yang beralih fungsi dan laju alih fungsi lahan
(Amini dkk., 2022)	Analisis perubahan penggunaan lahan dan alih fungsi lahan di wilayah perkotaan	Citra satelit Landsat (Landsat 5, 7, dan 8) dari tahun 1985 hingga 2019, model elevasi	Data citra multispektral (30 m dan 15 m) Data	Citra Landsat dari USGS Peta tutupan lahan global dari Copernicus (CGLCL) Data DEM	Random Forest di Google Earth Engine (GEE), Pan-sharpening, indeks spektral	Peta perubahan penggunaan lahan dan tutupan lahan dari tahun ke tahun Analisis

Penelitian	Tujuan	Jenis Data	Tipe Data	Sumber Data	Teknik Analisis	Luaran yang diharapkan
	dengan menggunakan data waktu seri Landsat dari tahun 1985 hingga 2019	digital (DEM) dan suhu permukaan tanah (LST)	spasial dan temporal Data kualitatif dari pengamatan visual	dari Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM)		akurasi klasifikasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan peta CGLCL

Penelitian	Tujuan	Jenis Data	Tipe Data	Sumber Data	Teknik Analisis	Luaran yang diharapkan
(Chaves dkk., 2020)	Mengkaji aplikasi terbaru dari data Landsat 8 Operational Land Imager (L8/OLI) dan Sentinel-2 MultiSpectral Instrument (S2/MSI) dalam pemetaan penggunaan lahan dan alih fungsi lahan	Citra dari Landsat 8/OLI dan Sentinel-2/MSI	Data Multispektral dan citra satelit	Landsat 8/OLI dan Sentinel-2/MSI	Random Forest (RF) dan Support Vector Machine (SVM), Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA), Analisis Waktu Citra Satelit	Pemetaan penggunaan lahan dan tutupan lahan yang lebih akurat dan terkini.
(Veisi Nabikandi dkk., 2024)	Memahami dampak perubahan penggunaan/penutupan lahan (LULC) terhadap penyerapan karbon (Cseq) dan emisi karbon. Mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs) melalui pengelolaan sumber daya lahan.	Data penggunaan lahan (LULC) untuk tahun 2013 dan 2023. Data proyeksi penggunaan lahan untuk tahun 2033 berdasarkan skenario Business-As-Usual (BAU) dan Sustainable Development (SD). Data karbon dari empat kolam karbon: karbon di atas tanah (AGC), karbon di bawah tanah (BGC),	Data spasial (peta LULC). Data temporal (perbandingan antara tahun 2013, 2023, dan proyeksi 2033). Data numerik (jumlah penyimpanan karbon di masing-masing kumpulan karbon).	Data citra satelit Landsat-8 OLI (2013 dan 2023) dari USGS. Data analisis laboratorium dan pemetaan tanah digital (DSM) untuk estimasi kepadatan karbon.	Model CA-Markov untuk memodelkan perubahan LULC. Model InVEST untuk menghitung penyimpanan karbon (Cts) dan penyerapan karbon (Cseq). Penggunaan algoritma Support Vector Machine (SVM) untuk	Peta penggunaan lahan yang diperbarui untuk tahun 2013, 2023, dan proyeksi 2033. Analisis perubahan penyimpanan karbon dari tahun ke tahun dan perbandingan antara skenario BAU dan SD. Rekomendasi untuk pengelolaan lahan yang berkelanjutan yang dapat mendukung pencapaian

Penelitian	Tujuan	Jenis Data	Tipe Data	Sumber Data	Teknik Analisis	Luaran yang diharapkan
		karbon organik mati (DeOC), dan karbon organik tanah (SOC).			klasifikasi penggunaan lahan.	tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs).
(Lyu dkk., 2023)	Mengidentifikasi tren perubahan tutupan lahan seperti hutan, lahan pertanian, area terbangun, dan lahan tandus. Mengukur perubahan stok karbon akibat perubahan tutupan lahan. Memberikan rekomendasi untuk perencanaan urban yang mendukung peningkatan stok karbon.	Data Utama: Data spasial perubahan tutupan lahan dari tahun 2013 hingga 2022. Data parameter karbon (biomassa, tanah, serasah, dan kayu mati) berdasarkan jenis tutupan lahan. Data Pendukung: Informasi zona iklim untuk klasifikasi stok karbon. Data demografi dan distribusi populasi untuk memilih kota studi.	Data Kuantitatif: Data perubahan luas tutupan lahan (misal: km ² per tahun). Data stok karbon (misal: ton karbon/ha). Nilai korelasi dan regresi multivariat untuk hubungan antara perubahan penggunaan lahan dan stok karbon. Data Kualitatif: Informasi deskriptif mengenai urbanisasi dan pengelolaan lahan di kota-kota yang diteliti.	Citra Satelit: Data citra Landsat 8 (30 m resolusi spasial). Database IPCC: Parameter stok karbon untuk berbagai jenis lahan dan zona iklim. Literatur Pendukung: Studi sebelumnya tentang fluks karbon di wilayah urban. Sumber Tambahan: Basis data populasi global seperti LandScan 2020.	Pengolahan Data Spasial: Klasifikasi tutupan lahan menggunakan model deep learning dalam lingkungan ArcGIS Pro 3.0. Pembuatan dataset tutupan lahan tahunan untuk setiap kota. Perhitungan Stok Karbon: Menggunakan rumus IPCC untuk menghitung stok karbon tahunan berdasarkan luas area dan parameter karbon. Analisis Statistik: Korelasi Pearson untuk mengidentifikasi tren perubahan penggunaan lahan dan stok karbon. Regresi multivariat	Pengetahuan Baru: Tren perubahan stok karbon di 100 kota besar dunia. Dampak urbanisasi terhadap emisi karbon dan stok karbon tanah. Panduan Perencanaan: Rekomendasi strategi pengelolaan lahan untuk meningkatkan stok karbon, seperti perlindungan hutan dan pengendalian ekspansi urban. Dokumentasi Data: Dataset tahunan stok karbon dan tutupan lahan yang dapat digunakan untuk studi lanjutan. Peningkatan Kesadaran: Informasi bagi pembuat kebijakan tentang pentingnya perencanaan urban yang berkelanjutan untuk mengurangi dampak perubahan iklim.

Penelitian	Tujuan	Jenis Data	Tipe Data	Sumber Data	Teknik Analisis	Luaran yang diharapkan
					untuk memahami hubungan antara perubahan tutupan lahan dengan fluks karbon. Visualisasi Data: Grafik dan peta perubahan stok karbon serta tutupan lahan pada skala global dan kota.	
Penelitian saat ini	Mengalisa alih fungsi lahan menjadi Permukiman dampaknya terhadap stok karbon Kecamatan Labuapi Tahun 2015,2017,2019,2021,2023	Citra Satelit Landsat 8 Tahun 2015,2017,2019,2021,2023, data Geospasial Kecamatan Labuapi	Peta citra satelit data peta geospasial	Citra Landsat dari USGS, Badan Informasi Geospasial	Semi Auto Matic pada QGIS mengetahui luas alih fungsi lahan, luas alih lahan dikalikan dengan konstanta karbon	Mengidentifikasi dan menganalisis alih fungsi lahan menjadi Permukiman, Menganalisis dampak alih fungsi lahan menjadi Permukiman terhadap stok karbon, Mengidentifikasi dan mengusulkan kebijakan yang sekiranya dapat mengelola alih fungsi lahan menjadi Permukiman

Penelitian mengenai alih fungsi lahan terhadap stok karbon di Kecamatan Labuapi dan 100 kota besar dunia memiliki fokus dan metode yang berbeda namun saling melengkapi. Penelitian di Kecamatan Labuapi bertujuan menilai dampak alih fungsi lahan terhadap stok karbon dalam skala lokal, sementara penelitian 100 kota besar dunia bertujuan memahami dampak perubahan tutupan lahan terhadap stok karbon secara global. Penelitian di Kecamatan Labuapi menggunakan citra Landsat 8 yang diolah melalui QGIS dengan *plugin Semi-Automatic Classification (SCP)* untuk menghasilkan data perubahan penggunaan lahan. Sebaliknya, penelitian 100 kota besar menggunakan teknologi pemrosesan citra yang lebih kompleks, seperti deep learning dalam ArcGIS Pro.

Untuk analisis stok karbon, kedua penelitian menggunakan metode perhitungan stok karbon berdasarkan luas tutupan lahan. Penelitian di Kecamatan Labuapi menggunakan nilai spesifik cadangan karbon untuk setiap kategori lahan, sedangkan penelitian global mengacu pada parameter karbon yang disediakan oleh IPCC. Analisis korelasi dalam penelitian Kecamatan Labuapi dilakukan dengan Analisis perubahan stok karbon tahunan (ΔC) per kategori lahan., yang lebih cocok untuk sampel kecil, sementara penelitian 100 kota besar menggunakan korelasi Pearson dan regresi multivariat untuk menganalisis hubungan antara perubahan tutupan lahan dan stok karbon.

Pendekatan pengelolaan dalam penelitian di Kecamatan Labuapi lebih fokus pada bagaimana alih fungsi lahan permukiman cocok atau tidak dengan ketentuan RTRW yang berlaku. Dengan melakukan evaluasi melalui perbandingan peta penggunaan lahan nyata dan peta zonasi RTRW, penelitian ini ingin memberikan rekomendasi yang jelas dan konkret supaya alih fungsi lahan yang tidak sesuai bisa dikendalikan. Tujuannya supaya kebutuhan pembangunan permukiman tetap terpenuhi, namun lingkungan terutama stok karbon bisa tetap terjaga. Pendekatan ini memberikan dasar yang kuat bagi pengambilan keputusan yang tepat dan sesuai dengan kondisi lokal, berbeda dengan penelitian yang berskala global yang biasanya memberikan rekomendasi secara umum berdasarkan tren perubahan lahan secara luas.. Perbedaan dan persamaan dari kedua penelitian dapat dilihat dalam tabel berikut:

Tabel 2.3 Persamaan dan Perbedaan Penelitian

Aspek	Penelitian	Penelitian 100 Kota Besar Dunia (Lyu et al., 2023)
Tujuan	Menilai dampak alih fungsi lahan terhadap stok karbon di skala lokal.	Mengukur dampak perubahan tutupan lahan terhadap stok karbon di skala global.
Cakupan Lokasi	Kecamatan Labuapi (skala kecil).	100 kota besar dunia (skala besar).
Data Satelit	Landsat 8 dengan QGIS dan plugin SCP.	Landsat 8 dengan ArcGIS Pro (deep learning).
Metode Stok Karbon	Menggunakan luas klasifikasi dan nilai spesifik cadangan karbon.	Berdasarkan parameter karbon IPCC untuk berbagai jenis tutupan lahan.
Teknik Analisis Korelasi	Perubahan stok karbon tahunan (ΔC) per kategori lahan.	Pearson dan regresi multivariat untuk mengukur fluks karbon.
Pendekatan Manajemen	Evaluasi kesesuaian alih fungsi lahan permukiman dengan RTRW untuk memberikan rekomendasi pengendalian perubahan lahan yang seimbang antara pembangunan dan konservasi stok karbon di tingkat lokal.	Rekomendasi berdasarkan tren fluks karbon dan kebijakan tata guna lahan.
Hasil Utama	Fokus pada pengelolaan lokal untuk peningkatan stok karbon	Tren global menunjukkan stok karbon menurun signifikan akibat urbanisasi.

Kesenjangan penelitian terletak pada skala dan fokus. Penelitian di Kecamatan Labuapi memiliki cakupan lokal dan lebih rinci dalam strategi pengelolaan, sedangkan penelitian global memberikan gambaran luas tanpa strategi spesifik untuk masing-masing kota. Selain itu, metode analisis di Kecamatan Labuapi menggunakan ANOVA yang lebih cocok untuk wilayah kecil, sementara penelitian global menggunakan teknik statistik yang lebih kompleks. Dalam hal strategi pengelolaan, penelitian di Kecamatan Labuapi lebih menitikberatkan pada evaluasi kesesuaian alih fungsi lahan dengan RTRW untuk memberikan rekomendasi pengendalian yang konkret dan kontekstual, sementara penelitian

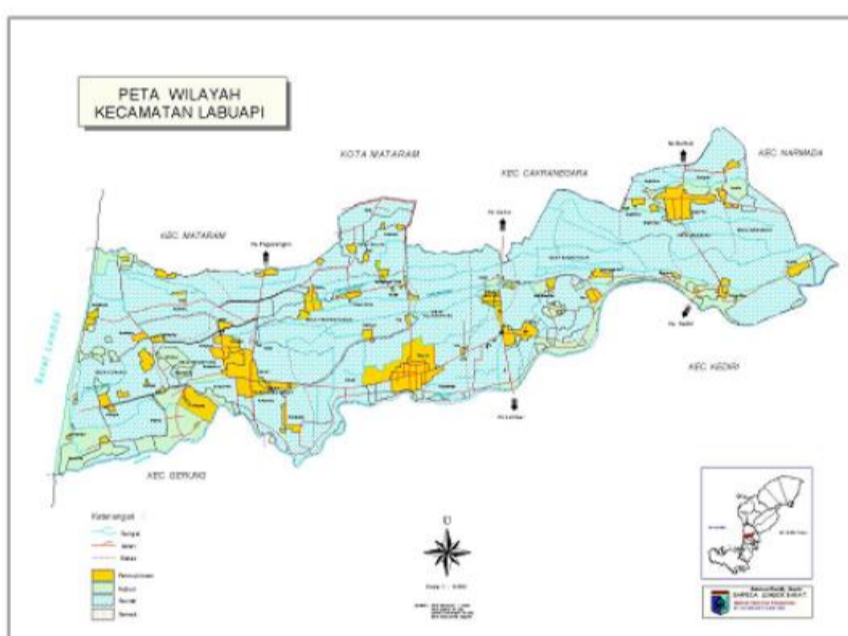
global cenderung memberikan rekomendasi yang bersifat umum dan kurang spesifik untuk tiap wilayah.

Kedua penelitian memberikan kontribusi penting yang saling melengkapi. Pendekatan lokal seperti di Kecamatan Labuapi memberikan solusi yang relevan untuk manajemen lahan secara praktis, sementara penelitian global memberikan wawasan makro mengenai tren stok karbon yang dapat menjadi panduan untuk kebijakan tingkat nasional dan internasional.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Kecamatan Labuapi

Kecamatan Labuapi terletak di Kabupaten Lombok Barat, Provinsi Nusa Tenggara Barat, dengan luas wilayah sekitar 28,33 km². Letaknya yang strategis menjadikan wilayah ini berbatasan langsung dengan Kecamatan Narmada di timur, Gunung Sari di selatan, dan Kabupaten Lombok Utara di utara. Posisi geografisnya berada pada koordinat 8°38'8.844"S 116°07'23.41"E, yang termasuk dalam wilayah beriklim tropis basah. Wilayah ini memiliki dua musim utama, yaitu musim hujan dan kemarau, dengan suhu rata-rata tahunan antara 25–32°C serta kelembaban udara yang tinggi. Kondisi ini sangat memengaruhi vegetasi dan pola pertanian masyarakat Kecamatan Labuapi (BPS Lombok Barat, 2025).



Gambar 3.1 Peta Administrasi Kecamatan Labuapi
Sumber: Pemerintah Kabupaten Lombok Barat

Penggunaan lahan di Kecamatan Labuapi cukup beragam, mulai dari pertanian, perkebunan, hingga kawasan permukiman. Lahan pertanian masih mendominasi, terutama untuk komoditas padi, jagung, dan sayuran yang bergantung pada irigasi dari aliran sungai lokal. Namun, dalam beberapa tahun terakhir, telah terjadi pergeseran penggunaan lahan ke arah permukiman dan infrastruktur publik. Berdasarkan analisis citra Landsat, teridentifikasi penurunan $\pm 18\%$ lahan pertanian yang berubah menjadi kawasan terbangun (Rizky et al., 2021). Perubahan ini dipicu oleh pertumbuhan penduduk, perluasan Kota Mataram, serta kebutuhan akan perumahan dan fasilitas dasar.

Topografi datar menjadikan wilayah ini sangat ideal untuk pemukiman dan pertanian intensif. Berdasarkan pengamatan citra satelit beresolusi tinggi, terlihat bahwa wilayah Kecamatan Labuapi didominasi oleh permukiman, sawah, tegalan, dan semak belukar (Iemaaniah, 2023). Namun, alih fungsi lahan pertanian ke lahan permukiman dan area komersial semakin meningkat dalam lima tahun terakhir. Alih

fungsi ini tidak hanya mengurangi ketersediaan lahan produktif, tetapi juga berdampak pada penurunan cadangan karbon. Fenomena ini konsisten dengan temuan Rizaldi (2021) yang menunjukkan adanya korelasi negatif antara alih fungsi lahan dan stok karbon di kawasan tropis Indonesia.

Pemilihan Kecamatan Labuapi sebagai lokasi studi dilatarbelakangi oleh intensitas perubahan penggunaan lahan yang cukup tinggi. Letaknya yang bersebelahan dengan Kota Mataram membuatnya menjadi kawasan penyangga yang sangat dinamis terhadap proses urbanisasi. Urbanisasi cepat ini menyebabkan pertumbuhan wilayah permukiman dan infrastruktur secara masif, yang menggeser lahan pertanian secara signifikan. Potensi pertanian yang besar di wilayah Lombok Barat pun terancam jika alih fungsi lahan tidak dikendalikan dengan baik. Oleh karena itu, Kecamatan Labuapi menjadi contoh kasus yang relevan untuk dianalisis dalam konteks perencanaan tata ruang berkelanjutan.

Menurut data dari BPS Lombok Barat (2025), Kecamatan Labuapi memiliki total luas 28,33 km², dengan beragam penggunaan lahan yang cukup kompleks. Pada tahun 2023, lahan sawah tercatat seluas 12,87 km², pertanian non-sawah 2,88 km², dan lahan bukan pertanian 1,19 km². Perubahan penggunaan lahan ini dipengaruhi oleh pertumbuhan ekonomi, urbanisasi, serta kebutuhan akan perumahan dan industri. Pergeseran gaya hidup masyarakat juga turut mendorong migrasi ke kawasan permukiman baru. Selain itu, kebijakan pemerintah daerah yang mengakomodasi pengembangan infrastruktur dan kawasan industri turut mempercepat konversi lahan (Sakirin, 2020).

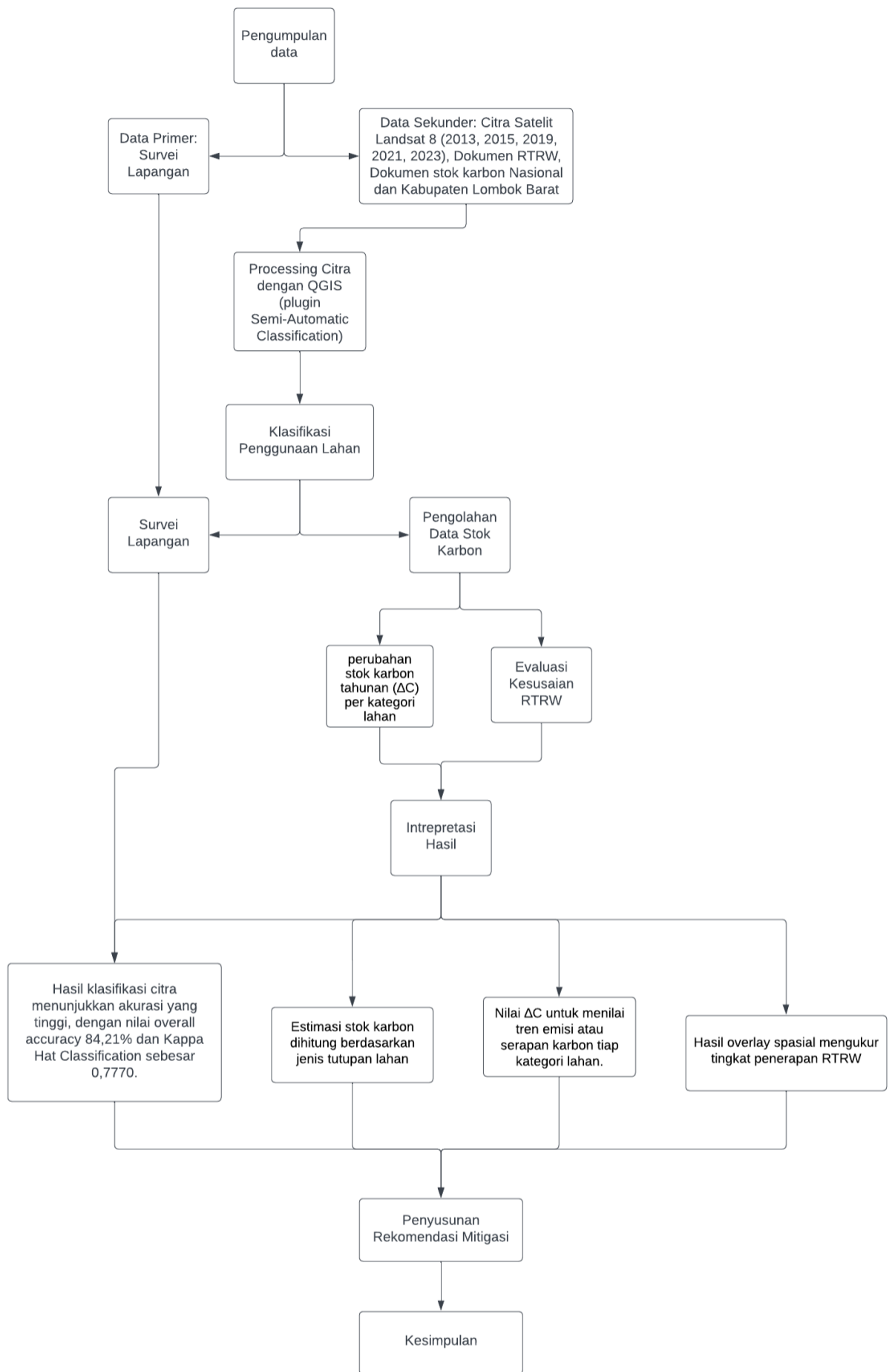
3.2 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di wilayah administratif Kecamatan Labuapi, Kabupaten Lombok Barat, Provinsi Nusa Tenggara Barat, dalam rentang waktu Februari hingga Juli 2025. Pemilihan lokasi penelitian didasarkan pada pertimbangan ilmiah terhadap intensitas dinamika alih fungsi lahan yang terjadi secara signifikan dalam beberapa tahun terakhir, yang berpotensi memberikan pengaruh besar terhadap stok karbon kawasan. Fenomena tersebut menjadikan Kecamatan Labuapi sebagai wilayah yang relevan untuk dianalisis dalam konteks hubungan antara perubahan penggunaan lahan dan kapasitas penyimpanan karbon. Rentang waktu pelaksanaan penelitian selama enam bulan dirancang untuk mengakomodasi seluruh tahapan kegiatan secara komprehensif, mulai dari persiapan, pengumpulan data primer dan sekunder, analisis spasial menggunakan citra penginderaan jauh, hingga pengolahan dan interpretasi data kuantitatif maupun kualitatif. Dengan demikian, hasil penelitian diharapkan mampu merepresentasikan kondisi aktual serta memberikan gambaran ilmiah yang valid mengenai dinamika alih fungsi lahan dan implikasinya terhadap stok karbon di wilayah penelitian.

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan yang sistematis untuk memastikan hasil analisis yang teruji serta akurat. Tahapan pertama adalah persiapan data, yang mencakup pengumpulan citra satelit Landsat 8 untuk wilayah penelitian di Kecamatan Labuapi pada tahun 2013, 2015, 2019, 2021, dan 2023. Citra ini kemudian melalui tahap preprocessing, termasuk koreksi geometrik untuk meningkatkan kualitas serta akurasi data (Lu et al., 2004). Selanjutnya, dilakukan klasifikasi penggunaan lahan menggunakan metode klasifikasi terawasi dengan perangkat lunak QGIS yang dilengkapi *plugin Semi-Automatic Classification (SCP)*. Proses ini bertujuan untuk membedakan kategori lahan berdasarkan spektrum reflektansi.

Tahap kedua melibatkan analisis stok karbon yang dihitung menggunakan rumus Cadangan Karbon Total = Luas Tutupan Lahan x Cadangan Karbon Per Tutupan Lahan. Nilai cadangan karbon per kategori lahan diperoleh dari referensi sebelumnya (Fulan, 2021) dan (Haruni et al., 2015). Setelah itu, dilakukan analisis perubahan stok karbon tahunan, tujuan dari tahap ini adalah untuk mengetahui besaran dan arah perubahan stok karbon yang terjadi selama periode pengamatan. Kemudian, dilakukan evaluasi kesesuaian alih fungsi lahan dengan aturan RTRW untuk memberikan rekomendasi yang jelas dan tepat sasaran, agar pengelolaan lahan bisa berjalan seimbang antara kebutuhan pembangunan permukiman dan pelestarian stok karbon di tingkat lokal.

Dalam memberikan gambar mengenai alur proses penelitian ini, berikut disajikan bagan alir yang menggambarkan tahapan-tahapan secara sistematis yang dijelaskan di atas.



Gambar 3.2 Tahapan Penelitian

3.3 Pengumpulan Data

Data penelitian ini diperoleh melalui dua pendekatan utama, yaitu data sekunder dan primer. Data sekunder meliputi citra satelit Landsat 8 yang diunduh dari *United States Geological Survey (USGS) Earth Explorer*, yang menyediakan informasi tentang tutupan lahan pada lima kategori utama (Pertanian, Permukiman, Kebun, Tegalan, Semak belukar). Data ini kemudian diolah menggunakan perangkat lunak QGIS dengan plugin SCP untuk proses klasifikasi dan ekstraksi informasi.

Untuk data primer, dilakukan survei lapangan guna memastikan hasil klasifikasi lahan sudah akurat dan sesuai kondisi sebenarnya. Selain itu, dikumpulkan juga dokumen kebijakan RTRW untuk melihat sejauh mana alih fungsi lahan di lapangan sudah sesuai dengan aturan yang berlaku. Analisis ini membantu memberikan gambaran nyata tentang pelaksanaan tata ruang, serta memberikan rekomendasi pengelolaan lahan yang bisa menjaga keseimbangan antara kebutuhan pembangunan permukiman dan pelestarian stok karbon di daerah setempat.

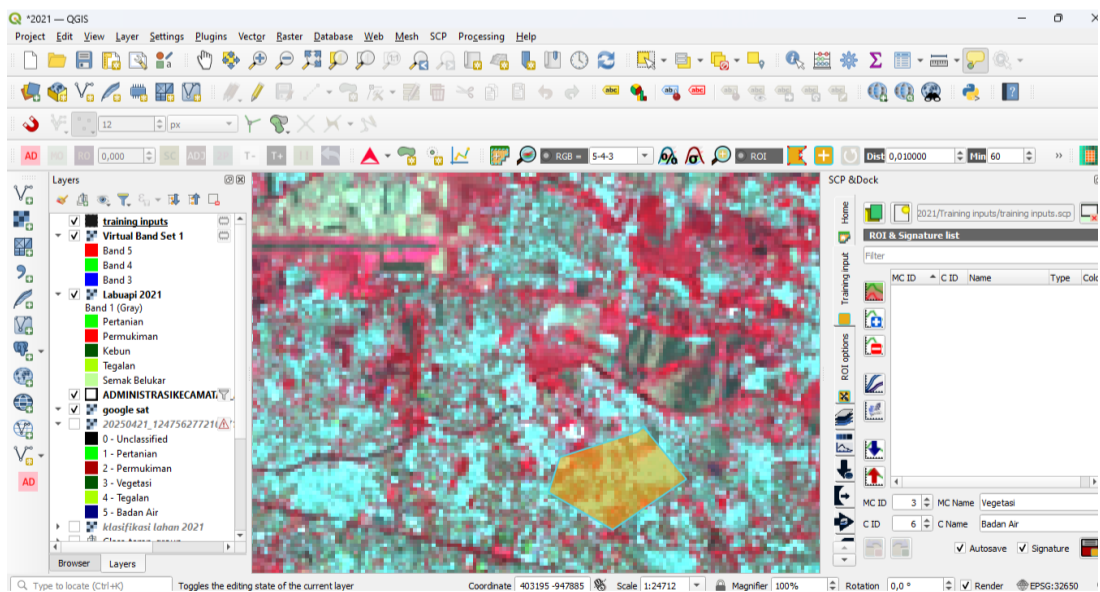
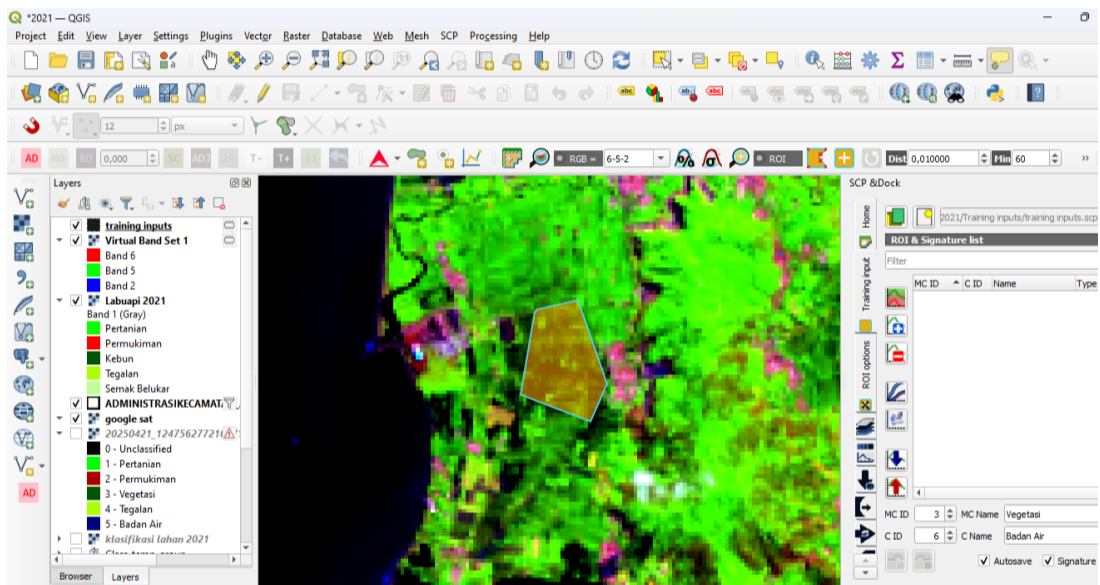
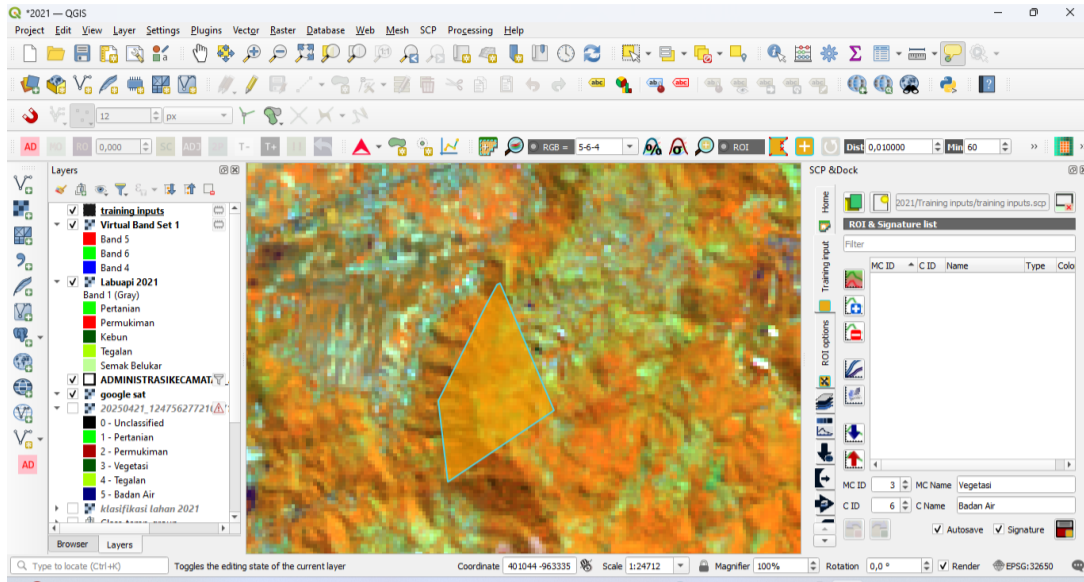
3.4 Analisis Alih Fungsi Lahan

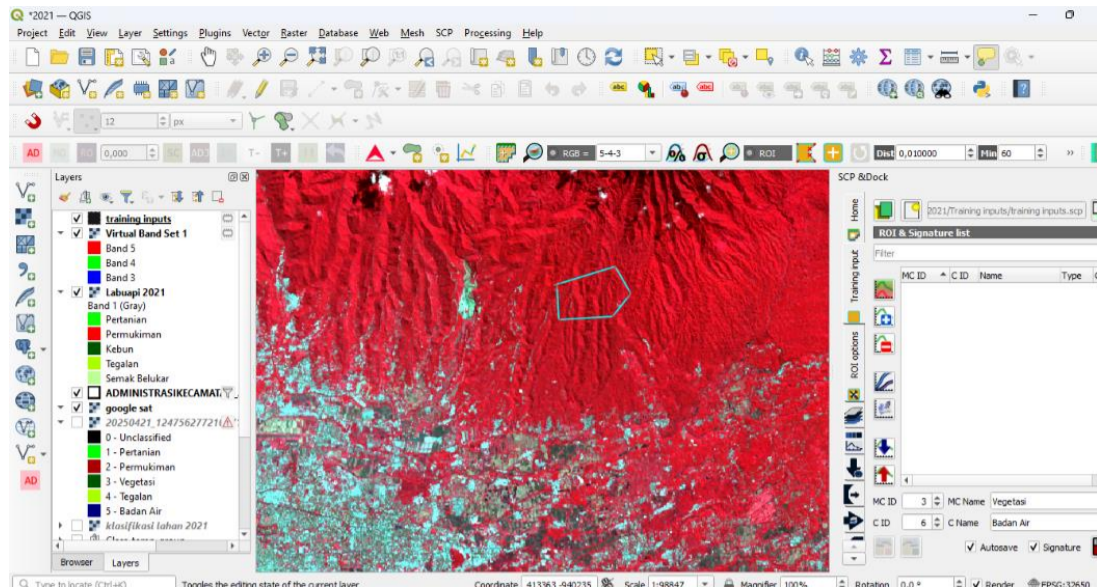
Penelitian ini menggunakan citra satelit Landsat 8 sebagai data utama untuk mengidentifikasi dinamika perubahan penggunaan lahan di Kecamatan Labuapi. Data citra diperoleh dari situs resmi *United States Geological Survey (USGS) Earth Explorer*, dengan cakupan temporal tahun 2013, 2015, 2019, 2021, dan 2023. Pemilihan tahun-tahun tersebut mempertimbangkan ketersediaan data yang bebas awan serta representatif terhadap tahapan perubahan tutupan lahan yang terjadi di wilayah studi. Pengolahan citra dilakukan menggunakan *Quantum Geographic Information System (QGIS)* yang dilengkapi dengan *plugin Semi-Automatic Classification (SCP)*. Plugin ini memungkinkan pengguna untuk melakukan proses klasifikasi citra secara efisien, mulai dari praproses hingga validasi, dengan pendekatan klasifikasi terawasi (*supervised classification*). Metode ini mengandalkan spektrum reflektansi yang terekam oleh sensor satelit, yang kemudian digunakan untuk membedakan piksel ke dalam kelas-kelas penggunaan lahan berdasarkan nilai-nilai statistik dari sampel pelatihan (*training samples*).

3.4.1 Proses Klasifikasi dan Validasi Citra Satelit Landsat 8

Citra satelit Landsat 8 yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari *United States Geological Survey (USGS) Earth Explorer* dan telah melalui tahap *preprocessing* berupa koreksi geometrik untuk meningkatkan kualitas serta akurasi spasial. Setelah proses koreksi dilakukan, klasifikasi citra dilaksanakan menggunakan metode klasifikasi terawasi (*supervised classification*) melalui perangkat lunak QGIS yang dilengkapi dengan *Semi-Automatic Classification Plugin (SAC)* data dengan menggunakan kombinasi *band* tertentu untuk mengkategorikan jenis lahan. Plugin ini memungkinkan pengguna melakukan

klasifikasi spektral dan pengolahan data penginderaan jauh secara sistematis dan efisien.





Gambar 3.3 Klasifikasi Terbimbing Citra Landsat 8 pada Kecamatan Labuapi

Penelitian ini fokus pada lima kategori penggunaan lahan yang ditemukan di Kecamatan Labuapi, yaitu:

1. Perumahan: Lahan yang digunakan untuk hunian dan kegiatan perumahan lainnya.
2. Pertanian: Lahan yang digunakan untuk kegiatan pertanian, terutama lahan sawah.
3. Kebun: Lahan yang digunakan untuk kebun dan hutan.
4. Tegalan: Lahan pertanian yang tidak dipermanenkan dan biasanya digunakan untuk tanaman musiman.
5. Semak Belukar: Lahan yang dibiarkan tumbuh alami dengan tutupan semak belukar.

Dalam proses klasifikasi penggunaan lahan, peneliti mengacu pada standar SNI 7645:2010 sebagai dasar klasifikasi, namun dilakukan penyesuaian berdasarkan karakteristik lokal wilayah studi. Di Kecamatan Labuapi, hanya lima kategori penggunaan lahan yang teridentifikasi secara dominan, yakni lahan pertanian (diasumsikan sebagai sawah), lahan terbangun (diinterpretasikan sebagai perumahan), semak belukar, tegalan, dan kebun. Kategori kebun dalam hal ini mencakup pula area yang didominasi oleh tutupan vegetasi lebat menyerupai hutan sekunder, sehingga secara fungsional digabungkan dalam satu kelas. Selain itu, kategori hutan juga dimasukkan ke dalam kelas kebun karena berada dalam band spektral yang serupa berdasarkan interpretasi citra. Penyesuaian ini bertujuan untuk meningkatkan relevansi klasifikasi terhadap kondisi biofisik dan sosial-ekonomi setempat. Guna menjamin validitas hasil klasifikasi berbasis citra satelit, peneliti melakukan survei lapangan secara acak (random sampling) untuk memverifikasi kesesuaian antara klasifikasi digital dengan kondisi aktual di lapangan.

Tabel 3.1 Tabel Kategori Lahan Berdasarkan SNI 7645:2010

No	Kategori Lahan	Deskripsi
1	Permukiman	Lahan yang digunakan untuk permukiman warga.
2	Pertanian	Lahan yang digunakan untuk pertanian, terutama sawah.
3	Kebun	Lahan yang digunakan untuk kebun dan hutan.
4	Tegalan	Lahan pertanian yang tidak dipermanenkan.

3.4.2 Validasi Hasil Klasifikasi

Analisis klasifikasi tutupan lahan dilakukan untuk mengidentifikasi lima kategori utama, yaitu permukiman, pertanian, kebun, tegalan, dan semak belukar. Validasi hasil klasifikasi dilakukan melalui dua pendekatan. Pertama, survei lapangan dilakukan untuk memverifikasi kesesuaian antara hasil klasifikasi digital dengan kondisi aktual di lapangan. Lokasi-lokasi representatif dari masing-masing kategori tutupan lahan diidentifikasi dan dibandingkan secara langsung dengan pengamatan lapangan untuk mengukur tingkat akurasi klasifikasi. Kedua, validasi kuantitatif dilakukan menggunakan fitur *Post Processing Accuracy* dalam plugin SCP, yang menghasilkan *confusion matrix* dan *area-based error matrix*, sehingga memungkinkan evaluasi ketepatan klasifikasi secara sistematis (Le et al., 2024).



Permukiman



Pertanian



Kebun



Tegalan



Semak Belukar

Gambar 3.4 Pengamatan lapangan

Berdasarkan hasil analisis *error matrix* dan *area-based error matrix* dapat disimpulkan bahwa proses klasifikasi citra menunjukkan tingkat akurasi yang baik. Dari *confusion matrix*, diperoleh nilai *overall accuracy* sebesar 84,21%, yang mencerminkan performa klasifikasi yang cukup tinggi, dengan nilai *Kappa Hat Classification* sebesar 0,7770. Selain itu, analisis *area-based error matrix* memberikan rincian lebih lanjut terkait dengan nilai *standard error*, *confidence interval*, serta tingkat akurasi pengguna dan produsen untuk masing-masing kelas. Kombinasi antara validasi lapangan dan hasil statistik ini menunjukkan bahwa data klasifikasi dapat digunakan secara andal dalam tahapan analisis perubahan penggunaan lahan dan perhitungan stok karbon di Kecamatan Labuapi.

3.5 Analisis dan Validasi Stok Karbon

Setelah proses klasifikasi dan interpretasi citra satelit selesai dilakukan, tahap berikutnya adalah menghitung stok karbon berdasarkan masing-masing kategori tutupan lahan yang teridentifikasi. Perhitungan ini bertujuan untuk mengestimasi cadangan karbon pada setiap jenis lahan serta mengukur perubahan stok karbon akibat alih fungsi lahan selama periode penelitian. Luas lahan diperoleh dari hasil klasifikasi menggunakan perangkat lunak QGIS, kemudian dikalikan dengan nilai cadangan karbon per hektar yang relevan untuk tiap jenis tutupan lahan. Perhitungan total stok karbon mengikuti rumus standar dari IPCC (2006):

Stok Karbon = Luas Tutupan Lahan x Cadangan Karbon Per Tutupan Lahan (IPCC, 2006)

Analisis stok karbon juga mencakup perhitungan perubahan stok karbon akibat alih fungsi lahan. Perubahan ini diukur berdasarkan perbandingan luas lahan dari kategori yang berbeda pada setiap tahun pengamatan (2015, 2017, 2019, 2021, 2023). Oleh karena itu, perhitungan stok karbon akan memperhitungkan dinamika perubahan luas lahan yang terjadi pada periode tersebut, yang akan mempengaruhi total stok karbon yang terakumulasi dalam wilayah tersebut.

Perhitungan ini dilakukan secara bertahap untuk setiap kategori lahan yang telah diklasifikasikan, sehingga menghasilkan estimasi total cadangan karbon di wilayah studi secara menyeluruh dan komprehensif.

Tabel 3.2 Stok Karbon Berdasarkan Jenis Lahan

Jenis Lahan	Konstanta Karbon (Ton C/Ha)	Referensi
Pertanian	16,63	(Fulan, 2021)
Permukiman	4	(BAPPENAS, 2014)
Kebun	22,98	(Fulan, 2021)
Tegalan	15,18	(Fulan, 2021)
Semak belukar	7,88	(Fulan, 2021)

Sumber : (BAPPENAS, 2014) dan (Fulan, 2021)

Nilai-nilai tersebut digunakan sebagai konstanta karbon untuk tiap tutupan lahan dan dijadikan acuan dalam estimasi stok karbon di Kecamatan Labuapi. Pemilihan nilai ini mempertimbangkan keterwakilan kondisi biofisik dan ekologis lahan berdasarkan referensi yang dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Untuk menjamin keabsahan data yang digunakan, penelitian ini mengacu pada dua sumber utama yang saling melengkapi secara metodologis:

1. BAPPENAS(2014) merupakan referensi nasional yang digunakan dalam penetapan nilai cadangan karbon untuk lahan permukiman. Dokumen ini diterbitkan dalam konteks penyusunan Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi

Gas Rumah Kaca dan merujuk pada pendekatan Tier 1 dan Tier 2 IPCC. Nilai cadangan karbon sebesar 4 ton C/ha yang digunakan dalam penelitian ini mencerminkan estimasi konservatif untuk kawasan terbangun atau permukiman di tingkat nasional.

2. Fulan (2021): Memberikan pendekatan berbasis data empiris lokal, yang secara khusus mengukur kandungan karbon tanah pada berbagai tipe lahan di wilayah yang berdekatan langsung dengan lokasi studi. Teknik pengambilan data menggunakan metode Walkley and Black dan penghitungan berat isi (*bulk density*), yang merupakan pendekatan standar dalam studi karbon tanah.

Kombinasi antara data nasional BAPPENAS (2014) dan data lokal Fulan (2021) memberikan kerangka analisis yang kuat melalui pendekatan multiskala dan triangulasi data. Data BAPPENAS menyediakan estimasi makro berbasis model, sementara data Fulan memperkaya analisis dengan data lapangan yang aktual dan kontekstual. Dengan cara ini, hasil estimasi stok karbon menjadi lebih valid dan dapat diandalkan untuk menggambarkan dinamika perubahan lahan dan implikasinya terhadap cadangan karbon secara komprehensif.

3.6 Analisis Perubahan Stok Karbon

Setelah proses estimasi stok karbon selesai dilakukan untuk masing-masing kategori tutupan lahan, langkah selanjutnya adalah menghitung perubahan stok karbon tahunan. Tujuan dari tahap ini adalah untuk mengetahui besaran dan arah perubahan stok karbon yang terjadi selama periode pengamatan, serta mengidentifikasi jenis tutupan lahan mana yang paling berkontribusi terhadap perubahan tersebut, baik dalam bentuk penurunan (emisi) maupun peningkatan (penyerapan) karbon akibat alih fungsi lahan.

Perhitungan perubahan stok karbon tahunan Delta C (ΔC) IPCC (2006) sebagai berikut:

$$\Delta C = \frac{(Ct2 - Ct1)}{(t2 - t1)}$$

Keterangan:

ΔC = Perubahan stok karbon tahunan (tC/tahun)

$Ct1$ = Stok karbon di awal

$Ct2$ = Stok karbon di akhir

$t1$ = Tahun awal stok karbon

$t2$ = Tahun akhir stok karbon

Rumus ini menghitung selisih stok karbon antara dua titik waktu dan membaginya dengan selang waktu antar tahun tersebut. Dengan demikian, diperoleh nilai perubahan rata-rata stok karbon per tahun (ΔC), yang menggambarkan laju kehilangan atau akumulasi karbon di suatu jenis tutupan lahan. Dalam penelitian ini,

ΔC dihitung untuk setiap kategori tutupan lahan pada interval waktu berturut-turut, yaitu 2015-2017, 2017-2019, 2019-2021, dan 2021-2023.

Setelah diperoleh nilai perubahan stok karbon (ΔC) untuk setiap kategori penggunaan lahan, langkah selanjutnya adalah melakukan konversi ke dalam satuan emisi CO₂-ekuivalen (CO₂-eq) guna memahami dampaknya terhadap perubahan iklim. Konversi ini diperlukan karena kehilangan stok karbon akibat alih fungsi lahan dapat berkontribusi langsung terhadap peningkatan konsentrasi karbon dioksida di atmosfer. Proses konversi dilakukan dengan mengalikan nilai ΔC dengan faktor konversi sebesar 44/12 (IPCC, 2006).

Faktor konversi 44/12 berasal dari rasio berat molekul karbon dioksida (CO₂), yaitu 44, terhadap berat molekul karbon (C), yaitu 12. Rasio ini menunjukkan bahwa satu ton karbon yang terlepas ke atmosfer akan membentuk 3,67 ton karbon dioksida, sehingga memungkinkan perubahan stok karbon dinyatakan dalam satuan ton CO₂-eq per tahun (IPCC, 2006). Rumus konversi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

$$EmisiCO_2 - eq = \Delta C \times \frac{44}{12}$$

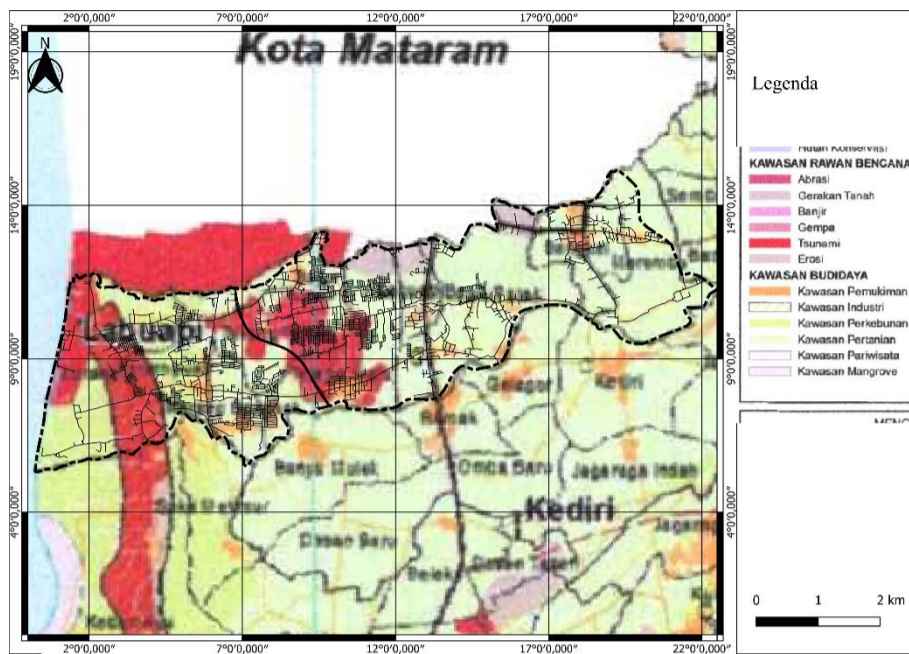
Perlu diperhatikan bahwa tidak semua perubahan stok karbon diasumsikan sebagai emisi. Jika nilai ΔC bernilai positif, maka terjadi penyerapan karbon dari atmosfer yang dikenal sebagai emisi negatif, artinya terjadi peningkatan cadangan karbon di darat. Sebaliknya, jika nilai ΔC negatif, maka hal ini menunjukkan kehilangan karbon dari ekosistem daratan ke atmosfer, yang dikategorikan sebagai emisi positif. Oleh karena itu, dalam konteks ini, hanya perubahan stok karbon yang bernilai negatif yang dikonversi sebagai emisi CO₂-eq, karena merepresentasikan kontribusi terhadap peningkatan gas rumah kaca di atmosfer.

Dengan pendekatan ini, konversi perubahan stok karbon menjadi emisi CO₂-eq dapat memberikan gambaran kuantitatif tentang sejauh mana alih fungsi lahan memengaruhi sistem iklim secara global, khususnya melalui pelepasan emisi karbon dioksida sebagai salah satu penyumbang utama pemanasan global.

3.7 Analisis dan Validasi Kesesuaian Alih Fungsi Lahan

Evaluasi kesesuaian alih fungsi lahan dilakukan dengan menggunakan software QGIS untuk membandingkan peta penggunaan lahan hasil pengolahan citra satelit dengan peta zonasi Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kecamatan Labuapi. Mengingat resolusi spasial peta RTRW Kecamatan Labuapi yang tersedia memiliki kualitas piksel yang rendah dan tidak optimal untuk analisis spasial presisi, maka penulis menyusun ulang peta RTRW tersebut berdasarkan digitasi ulang dan referensi peta asli yang diperoleh dari dokumen perencanaan tata ruang resmi. Perlu dicatat bahwa dokumen RTRW yang tersedia hanya mencakup periode tahun 2011–2031, dan hingga saat penelitian ini dilakukan tidak ditemukan dokumen evaluasi lima tahunan sebagaimana semestinya dilakukan menurut prinsip perencanaan spasial

berkelanjutan. Selain itu, dari hasil digitasi ulang oleh peneliti, diperoleh estimasi luasan lahan berdasarkan masing-masing zona peruntukan yang digunakan sebagai dasar analisis kesesuaian spasial.



Gambar 3.5 Peta Zonasi RTRW Kecamatan Labuapi
Sumber: Pemerintah Kabupaten Lombok Barat

Selanjutnya, data zonasi RTRW hasil digitasi ulang dan peta penggunaan lahan dari citra satelit diimpor ke dalam QGIS, kemudian dilakukan proses overlay untuk mengidentifikasi area permukiman yang berada di luar zona yang diizinkan sesuai dengan RTRW. Tahapan ini diikuti dengan perhitungan luas wilayah yang sesuai dan tidak sesuai terhadap aturan tata ruang, guna memperoleh gambaran kuantitatif mengenai persentase kesesuaian alih fungsi lahan (Nathanael & Taryana, 2025). Dari hasil tersebut, dapat dianalisis sejauh mana pelaksanaan RTRW diterapkan di lapangan serta menjadi dasar penyusunan rekomendasi pengelolaan lahan yang lebih tepat dan sesuai perencanaan.

Validasi terhadap hasil evaluasi ini dilakukan melalui teknik overlay spasial yang memungkinkan perbandingan langsung antara perubahan aktual penggunaan lahan dan peruntukan tata ruang yang telah ditetapkan. Proses ini tidak hanya menguji akurasi klasifikasi tutupan lahan, tetapi juga menilai implementasi RTRW di lapangan. QGIS sebagai perangkat analisis spasial menyediakan presisi tinggi dalam mendeteksi tumpang tindih antara kawasan yang mengalami alih fungsi lahan terutama ke permukiman dan zona peruntukan dalam RTRW (Widyaningrum et al., 2021). Hasil overlay tersebut memberikan gambaran spasial sekaligus kuantitatif mengenai efektivitas pelaksanaan RTRW, yang penting sebagai dasar penyusunan rekomendasi kebijakan tata ruang. Validasi ini memperkuat keandalan evaluasi dan memberikan justifikasi ilmiah atas perlunya perbaikan manajemen ruang demi menjaga keseimbangan antara pembangunan dan pelestarian lingkungan di Kecamatan Labuapi.

3.7 Analisis Mitigasi Dampak Alih Fungsi Lahan Terhadap Stok Karbon

Metode analisis mitigasi dalam penelitian ini dirancang untuk merumuskan rekomendasi kebijakan yang bertujuan mengurangi dampak negatif dari alih fungsi lahan terhadap penurunan stok karbon di Kecamatan Labuapi. Pendekatan yang digunakan bersifat empiris dan eksploratif, dengan mengintegrasikan hasil analisis perubahan stok karbon tahunan (ΔC) per kategori lahan dan kajian literatur ilmiah mengenai strategi mitigasi berbasis ekosistem, kebijakan tata ruang, serta pengelolaan cadangan karbon di wilayah tropis.

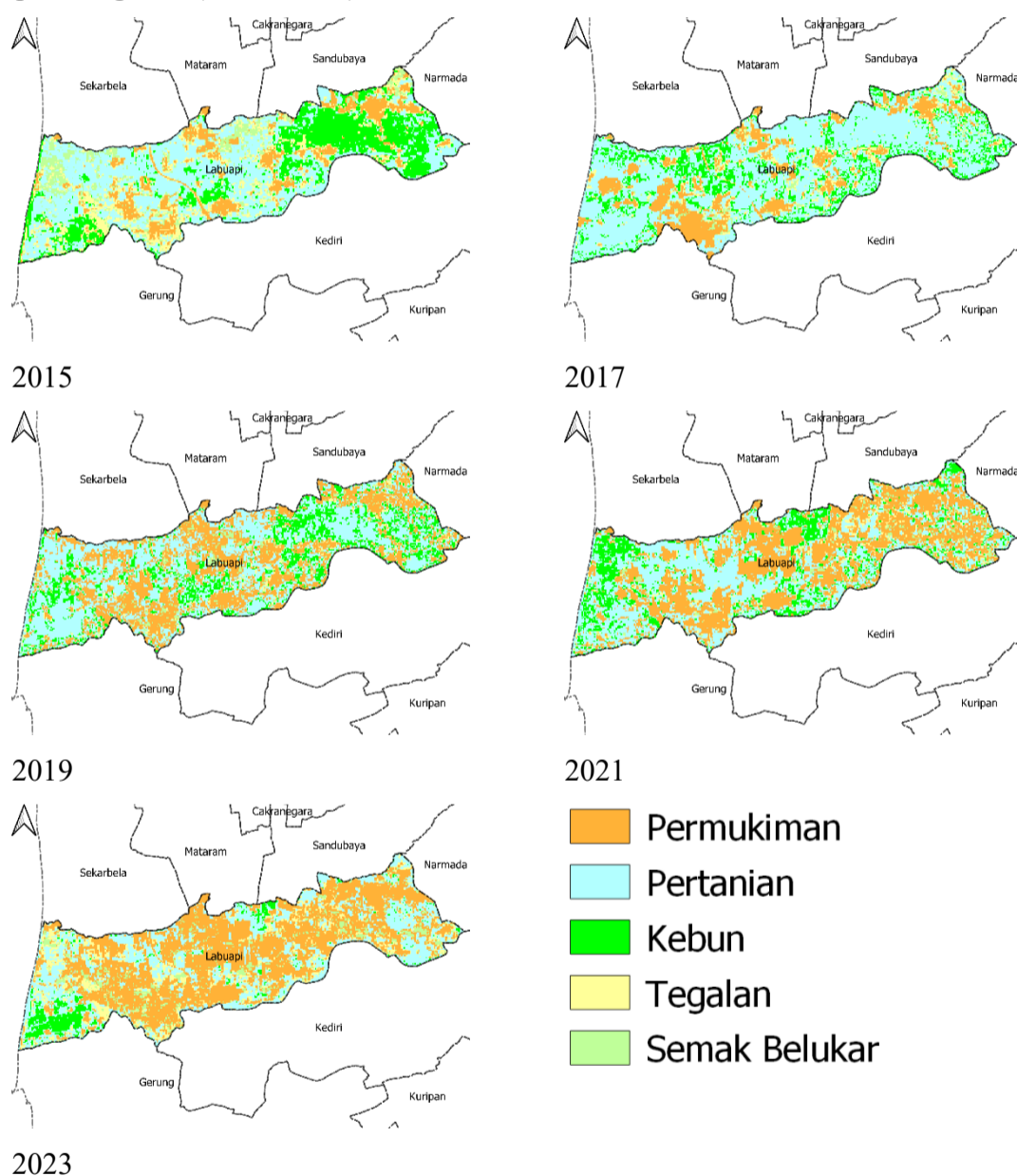
Analisis korelasi digunakan untuk mengevaluasi kekuatan dan arah hubungan linier antara luas lahan pada berbagai kategori penggunaan lahan (pertanian, permukiman, kebun, tegalan, dan semak belukar) dengan total stok karbon yang dikandung masing-masing kategori tersebut. Hasil korelasi menunjukkan kategori lahan yang memiliki hubungan paling erat dengan stok karbon, sehingga dapat dijadikan sebagai dasar dalam perumusan strategi mitigasi yang tepat sasaran. Misalnya, jika kebun dan tegalan menunjukkan nilai korelasi positif yang kuat terhadap stok karbon, maka pelestarian atau pemulihan kedua jenis lahan tersebut menjadi prioritas dalam upaya mitigasi.

Interpretasi dari nilai koefisien korelasi tersebut dijadikan sebagai indikator awal untuk mengidentifikasi arah kebijakan. Nilai korelasi yang signifikan menunjukkan bahwa perubahan luas suatu jenis lahan memiliki keterkaitan erat dengan dinamika stok karbon, sehingga dapat dijadikan landasan ilmiah dalam merancang intervensi berbasis lahan. Dengan demikian, pendekatan mitigasi yang disusun dalam penelitian ini tidak hanya mempertimbangkan dinamika penggunaan lahan secara kuantitatif, tetapi juga dikaitkan dengan nilai ekologis dan kapasitas penyerapan karbon dari masing-masing jenis lahan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Alih Fungsi Lahan di Kecamatan Labuapi

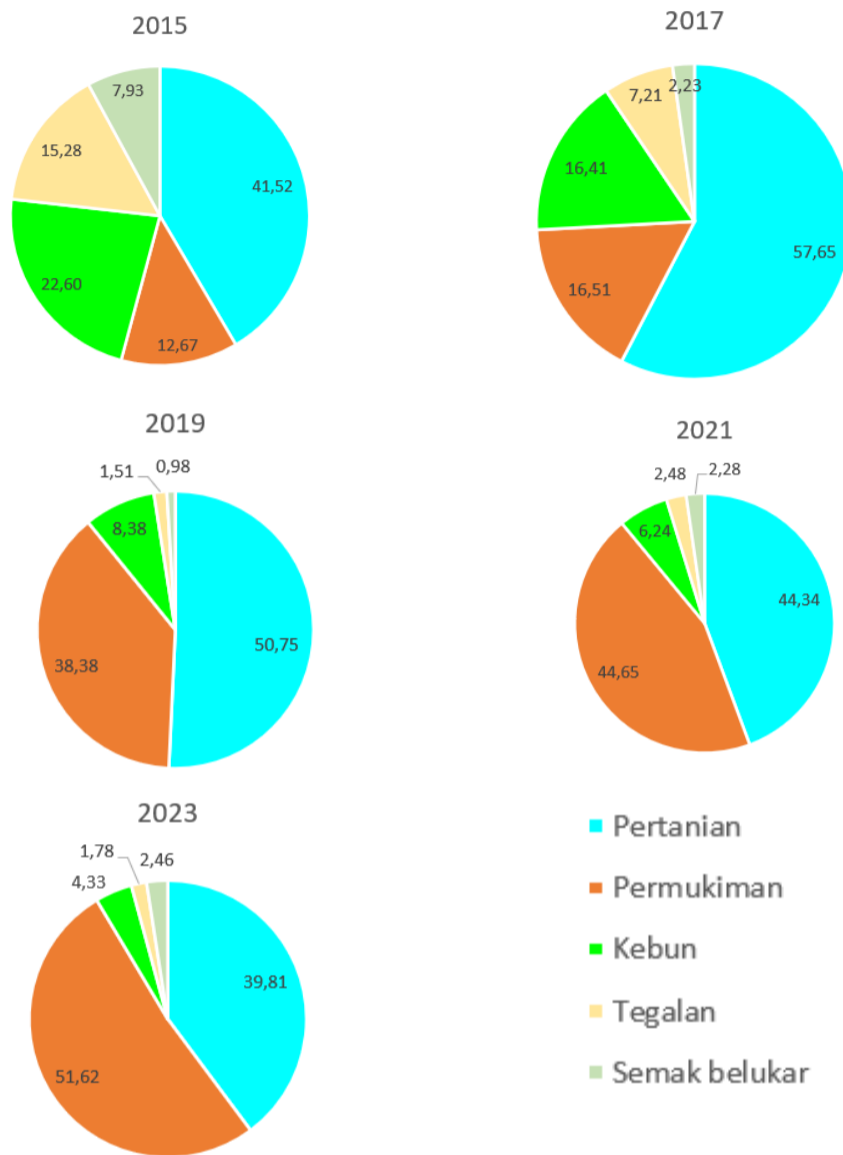
Jenis lahan yang berhasil diidentifikasi di Kecamatan Labuapi meliputi pertanian, permukiman, kebun, tegalan, dan semak belukar, masing-masing menunjukkan karakteristik ekologis yang spesifik. Hasil klasifikasi menggunakan QGIS memperlihatkan variasi spasial dan temporal yang signifikan sepanjang tahun 2015 hingga 2023. Visualisasi berupa peta klasifikasi berwarna memperlihatkan kecenderungan kuat alih fungsi lahan dari kawasan vegetatif ke permukiman, menandakan dinamika ruang yang dipicu oleh pertumbuhan wilayah dan kebutuhan pembangunan (Gambar 4.1).



Gambar 4. 1 Tren Penggunaan Lahan Kecamatan Labuapi

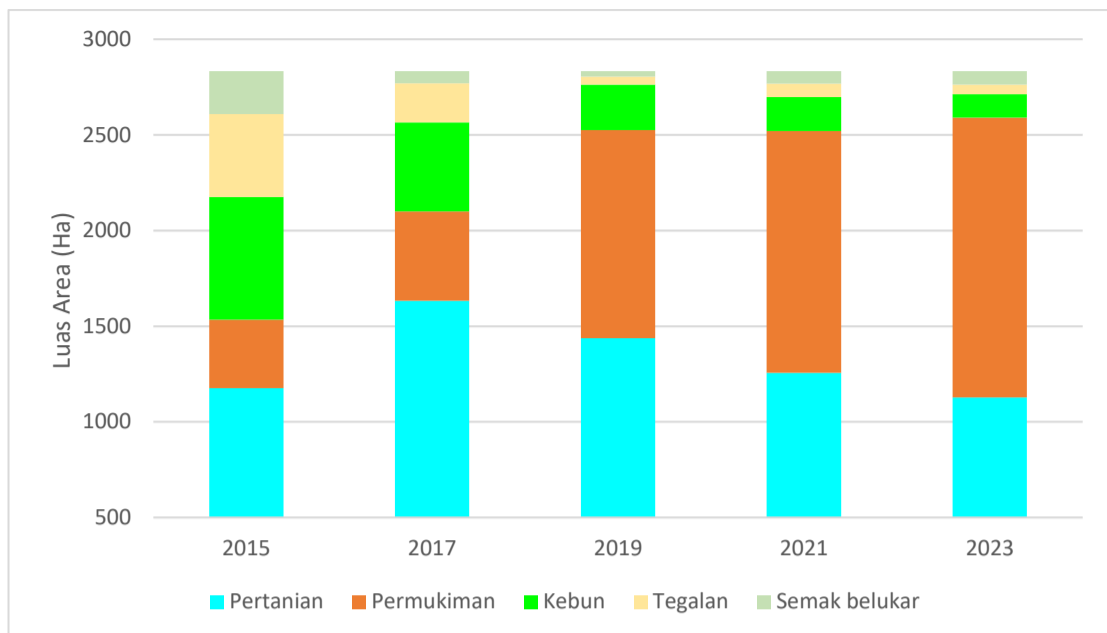
Sejak tahun 2019, ekspansi permukiman terlihat semakin mencolok, ditandai dengan dominasi warna coklat pada peta yang mencerminkan tekanan urbanisasi terhadap lahan vegetatif. Alih fungsi ini tidak hanya mengubah lanskap fisik, tetapi juga menurunkan fungsi ekologis seperti daya serap karbon dan tutupan vegetasi alami

(Briassoulis, 2019). Alih fungsi yang tidak terkendali berpotensi menurunkan kapasitas ekosistem lokal, sehingga perlu menjadi dasar dalam perumusan kebijakan tata ruang yang berkelanjutan.



Gambar 4.2 Komposisi Penggunaan Lahan di Kecamatan Labuapi Tahun 2015-2023

Pada tahun 2015, lahan pertanian mendominasi penggunaan lahan seluas 1.176,18 Ha, sedangkan permukiman hanya mencakup 358,94 Ha. Lahan kebun 640,26 Ha, tegalan 432,88 Ha, dan semak belukar 224,66 Ha berfungsi sebagai cadangan ekologis dan sumber ekonomi alternatif. Namun, antara 2015 dan 2017, luas lahan pertanian melonjak menjadi 1633,62 Ha, didorong oleh program *Upsus Pajale* yang mengaktivasi lahan tidak produktif (Hamidov et al., 2016; Zhi et al., 2022). Sementara itu, lahan kebun dan semak mengalami penurunan signifikan, yang menunjukkan adanya alih fungsi ke permukiman dan pertanian pangan yang lebih menguntungkan secara ekonomi Rose et al., (2019). Visualisasi tren ini disajikan dalam Gambar 4.2.



Gambar 4.3 Perubahan Luas Penggunaan Lahan Kecamatan Labuapi

Tren alih fungsi semakin nyata setelah tahun 2019, di mana permukiman meningkat signifikan dan lahan vegetatif menurun. Luas permukiman bertambah dari 1087,31 Ha (2019) menjadi 1264,93 Ha (2021), lalu mencapai 1462,39 Ha pada 2023. Sebaliknya, pertanian menurun dari 1633,62 Ha (2017) menjadi 1127,82 Ha pada 2023. Fenomena ini sejalan dengan temuan Ansari et al. (2024) dan Liu et al. (2024) yang menyoroti tekanan pembangunan di wilayah peri-urban yang berdampak pada hilangnya ruang vegetatif.

Lahan kebun mengalami penurunan paling drastis, dari 640,26 Ha (2017) menjadi 122,67 Ha pada 2023. Transformasi ini secara ekologis menurunkan potensi penyerapan karbon dan perlindungan keanekaragaman hayati (Alemu et al., 2024; Csomós et al., 2024). Penurunan juga terjadi pada tegalan, dari 70,26 Ha (2021) menjadi 50,43 Ha (2023), yang mencerminkan alih fungsi lahan marginal karena tekanan pembangunan (Smit et al., 2024). Sebaliknya, semak belukar justru mengalami sedikit peningkatan dari 64,54 Ha (2021) menjadi 69,69 Ha (2023), yang menunjukkan adanya ruang terbuka hijau yang masih bertahan dan berfungsi sebagai habitat alami serta penyangga ekologis.

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa alih fungsi lahan di Kecamatan Labuapi merupakan hasil dari interaksi antara faktor sosial-ekonomi, kebijakan ruang, dan biofisik lokal (Briassoulis, 2019; Lambin & Meyfroidt, 2011). Dinamika ini menuntut kebijakan tata ruang yang adaptif dan berbasis bukti, guna menyeimbangkan pembangunan dengan kelestarian ekosistem.

4.2 Analisis Stok Karbon

Perubahan stok karbon di Kecamatan Labuapi sepanjang periode 2015 hingga 2023, dengan menitikberatkan pada perubahan penggunaan lahan meliputi kategori pertanian, permukiman, kebun, tegalan, serta semak belukar. Hasil utama menunjukkan penurunan stok karbon secara signifikan di hampir seluruh jenis tutupan lahan, terutama sebagai dampak dari alih fungsi vegetasi alami menjadi lahan permukiman.

Penurunan ini memberikan implikasi serius terhadap keberlanjutan ekosistem serta memperkuat tren perubahan iklim di tingkat lokal akibat meningkatnya emisi karbon dioksida. Berikut tabel penyajian estimasi stok karbon berdasarkan jenis lahan

Stok karbon = Luas Jenis Lahan x Nilai Cadangan Karbon

Stok karbon = Lahan Pertanian 2015 x Nilai Cadangan Karbon Pertanian

Stok karbon = 1176,18 Ha x 16,63 C/Ha

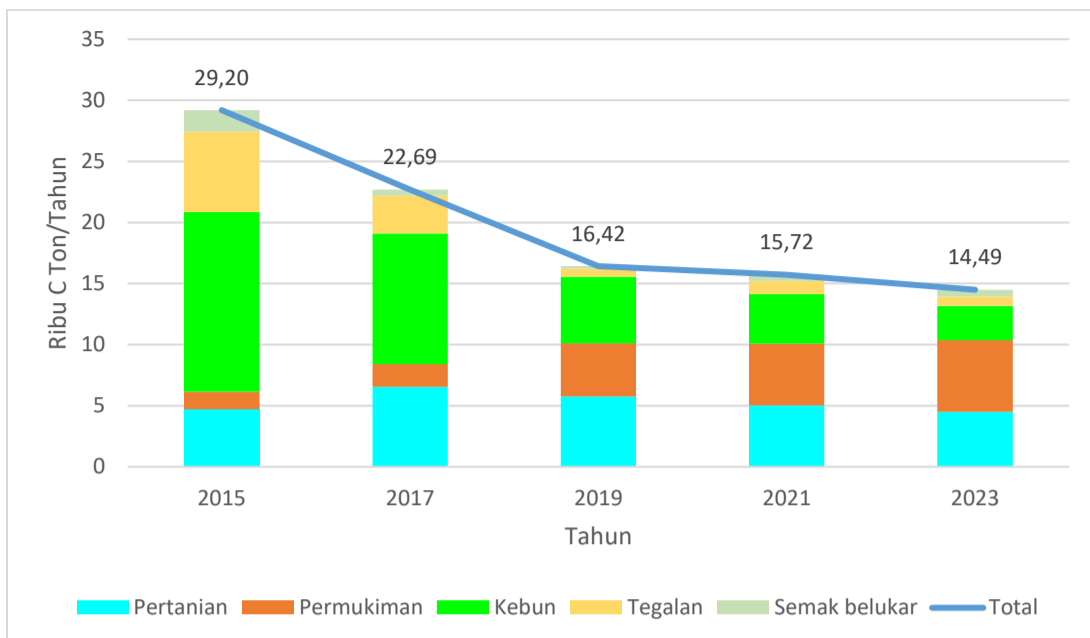
Stok karbon = 4704,71 C/Ha

Tabel 4.1 Stok Karbon Kecamatan Labuapi

Jenis Lahan	C Ton/Ha				
	2015	2017	2019	2021	2023
Pertanian	4704,71	6540,83	5712,46	4948,68	4511,27
Permukiman	1435,76	1870,91	4349,22	5080,14	5849,58
Kebun	14713,13	10683,29	5455,58	4062,39	2818,93
Tegalan	6571,15	3100,66	649,37	1066,52	765,49
Semak belukar	1770,30	497,83	218,78	508,54	549,17
Total	29195,05	22693,52	16385,41	15666,27	14494,44

Alih fungsi lahan di Kecamatan Labuapi menunjukkan kecenderungan yang signifikan dalam memengaruhi stok karbon dan keberlanjutan ekologis. Alih fungsi lahan pertanian menjadi kawasan permukiman menjadi penyebab utama penurunan stok karbon. Tahun 2015, stok karbon lahan pertanian tercatat sebesar 4.704,71 C Ton/Ha. Namun, tekanan pembangunan dan pertumbuhan penduduk mendorong alih fungsi lahan secara masif, mengakibatkan penurunan fungsi ekosistem. Hal ini sejalan dengan temuan Shibabaw et al (2023) dimana dampak hilangnya tutupan vegetatif alami terhadap penurunan kapasitas penyimpanan karbon.

Penurunan stok karbon tidak hanya terjadi pada lahan pertanian, tetapi terjadi juga pada lahan kebun dan semak belukar yang menjadi indikator penting kesehatan ekosistem. Penurunan stok karbon pada lahan kebun -11.894,2 C/Ha (dari 14.713,13 C/Ha pada 2015 menjadi 2.818,93 C/Ha pada 2023). Penurunan stok karbon pada lahan tegalan -5.805,66 C/Ha (dari 6.571,15 C/Ha pada 2015 menjadi 765,49 C/Ha pada 2023). Untuk lahan permukiman +4.413,82 C/Ha (dari 1.435,76 C/Ha pada 2015 menjadi 5.849,58 C/Ha pada 2023). Fenomena ini berkorelasi dengan degradasi lahan akibat alih fungsi tak terkendali. Studi yang dilakukan Paltineanu et al (2024) mengemukakan bahwa perubahan penggunaan lahan menurunkan kapasitas tanah menyimpan karbon secara efektif. Selain itu, Ota et al (2024) mengemukakan degradasi tanah sebagai ancaman sistemik terhadap ketahanan iklim regional.



Gambar 4.4 Stok Karbon Kecamatan Labuapi

Dalam analisis ini, stok karbon per jenis lahan dapat menunjukkan tren peningkatan meskipun luas lahan tersebut mengalami penurunan. Hal ini merupakan konsekuensi dari penggunaan nilai konstanta stok karbon per hektar yang tetap sepanjang periode. Perhitungan total stok karbon diperoleh dari perkalian antara luasan dan nilai karbon per hektar, sehingga perubahan kecil pada luasan tetap memengaruhi total karbon yang dihitung. Sebagai contoh, penurunan luas semak belukar masih dapat menghasilkan nilai stok karbon yang tinggi jika wilayah tersisa memiliki kepadatan karbon per hektar yang besar. Dengan demikian, perubahan stok karbon tidak sepenuhnya mencerminkan dinamika spasial, melainkan juga dipengaruhi oleh asumsi nilai alih fungsi yang konstan dari tahun ke tahun.

Hal ini menunjukkan bahwa dinamika spasial penggunaan lahan bukan hanya berimplikasi terhadap struktur tata ruang, tetapi juga berkonsekuensi langsung pada kapasitas ekologis wilayah dalam menyerap karbon. Temuan ini menjadi dasar penting dalam menyusun strategi mitigasi perubahan iklim berbasis tata guna lahan, khususnya dalam konteks tropis di mana vegetasi alami memiliki nilai konservasi karbon yang tinggi.

Temuan ini memperkuat pentingnya pengelolaan lahan secara berkelanjutan melalui strategi konservatif. Dalam penelitian Odebiri et al (2024) menyarankan penerapan praktik agroforestry, pertanian organik, dan restorasi lahan terdegradasi sebagai solusi pemulihan stok karbon. Strategi ini sejalan dengan teori Briassoulis (2019) yang menyarankan bahwa kebijakan lahan harus mempertimbangkan dinamika biofisik dan sosial ekonomi. Pemanfaatan teknologi seperti penginderaan jauh dan *machine learning* turut serta menjadi kunci dalam pemantauan stok karbon ke depan. Integrasi teknologi ini memungkinkan perencanaan yang lebih akurat dan adaptif.

Penelitian ini juga menunjukkan konsistensi dengan literatur internasional mengenai dampak alih fungsi lahan vegetatif terhadap penurunan kualitas tanah dan peningkatan emisi karbon. Dalam studi Bordoloi et al (2022) dan Valjavec et al (2022)

menegaskan dampak ekologis dari alih fungsi tersebut. Dalam konteks lokal, peningkatan stok karbon sempat terjadi di lahan tegalan pada 2021, namun kembali menurun drastis di tahun 2023. Dinamika ini mencerminkan kompleksitas faktor lingkungan dan sosial-ekonomi dalam perubahan penggunaan lahan. Sesuai teori Briassoulis (2019), penting untuk memahami konteks lokal dalam merespons perubahan tersebut secara efektif.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memberikan bukti kuat bahwa alih fungsi lahan vegetatif menjadi permukiman berdampak negatif terhadap stok karbon dan keseimbangan ekosistem. Oleh karena itu, strategi pengelolaan berbasis konservasi teknologi dan kebijakan tata ruang yang responsif menjadi sangat penting. Penggunaan data spasial dan pendekatan berbasis bukti akan membantu merancang kebijakan yang relevan secara lokal. Langkah ini penting untuk menjaga ketahanan ekosistem dan mendukung mitigasi perubahan iklim nasional.

4.3 Perubahan Stok Karbon Tahunan antar Kategori Tutupan Lahan

Hasil analisis perubahan stok karbon tahunan (ΔC) per kategori tutupan lahan di Kecamatan Labuapi menunjukkan adanya variasi signifikan dalam arah dan besaran perubahan stok karbon antar periode pengamatan. Metode ΔC digunakan untuk menghitung perubahan bersih cadangan karbon berdasarkan selisih stok karbon antara dua titik waktu, sebagaimana dirumuskan dalam pedoman IPCC (2006). Pendekatan ini memungkinkan integrasi dimensi temporal ke dalam evaluasi, sehingga dapat merepresentasikan secara lebih akurat dinamika penurunan maupun akumulasi karbon yang terjadi akibat alih fungsi lahan.

Metode ΔC tidak hanya menunjukkan apakah suatu lahan berperan sebagai penyerap atau pelepas karbon, tetapi juga mengukur secara kuantitatif besarnya dalam satuan ton karbon per tahun (tC/tahun). Misalnya, pada kategori lahan kebun, terjadi penurunan stok karbon yang sangat signifikan sebesar -2.613,86 Ton C pada periode 2017–2019, yang mencerminkan dampak langsung dari konversi lahan vegetatif menjadi non-vegetatif. Sebaliknya, kategori permukiman justru menunjukkan peningkatan ΔC secara konsisten, dengan total akumulasi karbon sebesar +2. 206,91 Ton C selama periode 2015-2023.

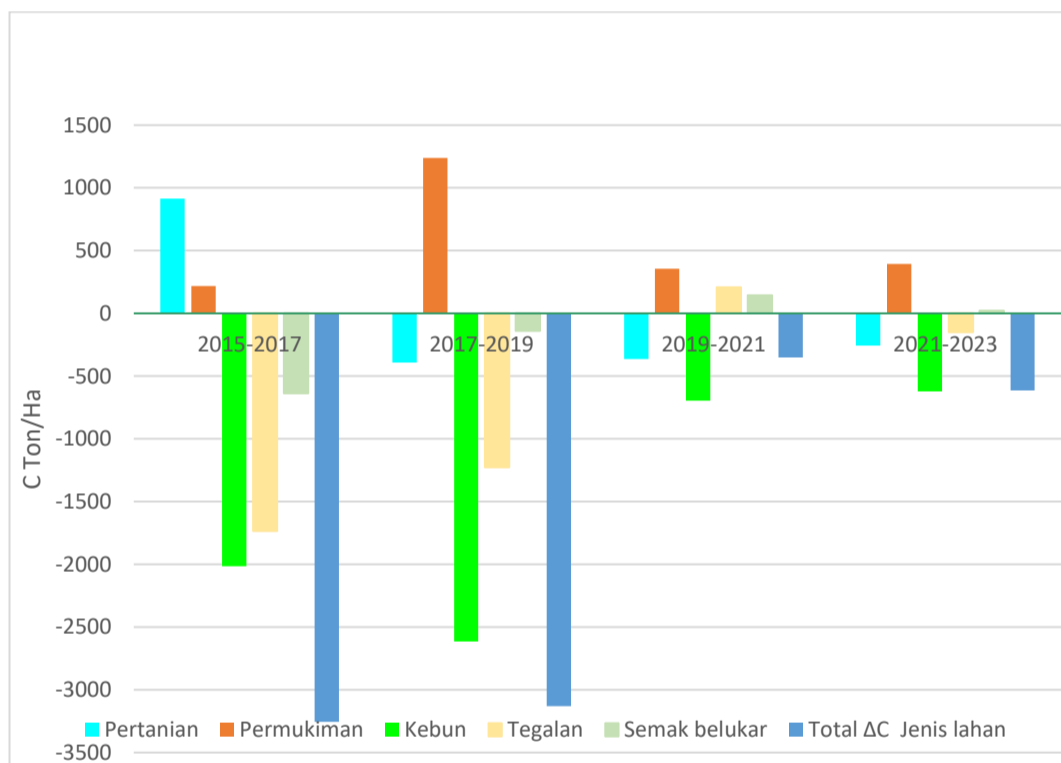
Untuk memperjelas temuan tersebut, Tabel 4.2 menyajikan ringkasan perubahan stok karbon tahunan (ΔC) pada lima kategori utama tutupan lahan (pertanian, permukiman, kebun, tegalan, dan semak belukar) dalam empat interval waktu pengamatan.

Tabel 4.2 Perubahan Stok Karbon (ΔC) Berdasarkan Jenis Lahan di Kecamatan Labuapi 2015–2023

Jenis Lahan	2017-2015	2019-2017	2021-2019	2023-2021
Pertanian	914,10	-390,95	-363,19	-256,67
Permukiman	217,57	1239,15	355,26	394,92
Kebun	-2014,92	-2613,86	-696,60	-621,73
Tegalan	-1735,25	-1225,64	208,57	-150,52

Jenis Lahan	2017-2015	2019-2017	2021-2019	2023-2021
Semak belukar	-636,24	-139,53	144,88	20,31
Total ΔC	-3254,73	-3130,82	-351,07	-613,68

Lahan permukiman menunjukkan hubungan negatif yang kuat terhadap dinamika stok karbon, di mana ekspansi kawasan permukiman berkontribusi terhadap penurunan cadangan karbon total sebesar -1.205,71 Ton C selama periode pengamatan. Padahal, lahan pertanian sebagai lahan asal alih fungsi memiliki konstanta karbon yang tinggi, yaitu 4 ton C/Ha. Fenomena ini menunjukkan bahwa konversi lahan produktif menjadi kawasan terbangun secara langsung mengurangi kapasitas penyerapan karbon wilayah (Sanderman et al., 2017). Temuan ini sejalan dengan studi Ly et al. (2022), yang menunjukkan bahwa alih fungsi lahan pertanian menjadi area terbangun berdampak signifikan terhadap hilangnya stok karbon. Pola ini divisualisasikan melalui grafik batang berikut.



Gambar 4.5 Perubahan Stok Karbon Tahunan (ΔC) per Jenis Lahan di Kecamatan Labuapi (2015–2023)

Sebaliknya, lahan permukiman mencatat penurunan total karbon sebesar +2.206,91 ton, dengan lonjakan tertinggi terjadi pada periode 2017–2019 sebesar +1.239,15 ton. Namun demikian, peningkatan ini bersifat semu karena didorong oleh penambahan luas lahan, bukan oleh kemampuan permukiman dalam menyerap karbon, mengingat densitas karbonnya sangat rendah yaitu hanya 4 ton C/Ha (Edmondson et al., 2012; Robinson et al., 2023). Gambar 4.4 menunjukkan peningkatan volume karbon pada lahan permukiman yang tidak sebanding dengan kontribusinya terhadap keseimbangan karbon, mengingat kualitas tutupan lahan yang tidak mendukung fungsi ekosistem secara optimal. Hal ini menegaskan pentingnya membedakan antara total akumulasi dan kualitas kontribusi per satuan luas.

Dengan memperhatikan konstanta karbon per hektar, pendekatan estimasi dinamis seperti metode ΔC yang mempertimbangkan variasi spasial dan temporal dinilai lebih akurat dalam merepresentasikan dampak nyata dari alih fungsi lahan terhadap stok karbon. Grafik batang yang disajikan dalam penelitian ini menggambarkan dengan jelas fluktuasi stok karbon pada masing-masing jenis lahan di setiap periode observasi, memberikan visualisasi yang informatif untuk mengevaluasi dampak perubahan penggunaan lahan secara terukur. Pendekatan ini memberikan dasar yang kuat untuk perumusan kebijakan mitigasi berbasis data, sebagaimana juga disarankan oleh Fang & Wang (2025) dan Shao et al. (2023).

Perubahan stok karbon (ΔC) mencerminkan jumlah karbon yang tersimpan atau hilang dari ekosistem akibat perubahan penggunaan lahan. Ketika stok karbon berkurang, karbon yang tersimpan dilepaskan ke atmosfer sebagai gas karbon dioksida (CO_2), yang berkontribusi pada emisi gas rumah kaca. Untuk mengukur dampaknya, nilai ΔC dikonversi ke emisi CO_2 ekuivalen dengan mengalikan stok karbon yang berubah (ton C) dengan faktor 44/12, yaitu rasio berat molekul CO_2 terhadap karbon. Nilai negatif ΔC menunjukkan pelepasan karbon yang dikonversi sebagai emisi positif CO_2 , sementara nilai positif menandakan penyerapan karbon. Dengan konversi ini, dapat diketahui seberapa besar perubahan penggunaan lahan berkontribusi pada emisi CO_2 , seperti yang disajikan dalam tabel berikut.

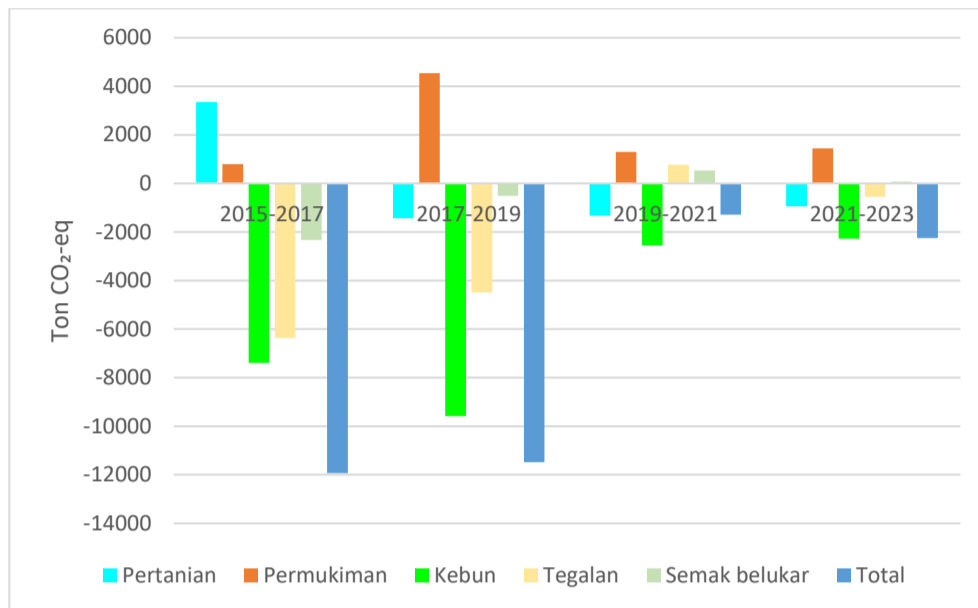
Tabel 4.3 Estimasi Emisi Ton CO_2 -eq Berdasarkan Perubahan Stok Karbon per Jenis Tutupan Lahan Kecamatan Labuapi 2015–2023

Kategori lahan	Ton CO_2 -eq			
	2015-2017	2017-2019	2019-2021	2021-2023
Pertanian	3351,68	-1433,50	-1331,70	-941,12
Permukiman	797,77	4543,57	1302,61	1448,04
Kebun	-7388,03	-9584,15	-2554,18	-2279,67
Tegalan	-6362,58	-4494,02	764,77	-551,90
Semak belukar	-2332,86	-511,59	531,24	74,49

Berdasarkan analisis data Ton CO_2 -eq dari berbagai kategori penggunaan lahan di Kecamatan Labuapi selama periode 2015-2023, ditemukan bahwa dinamika perubahan penggunaan lahan memiliki dampak yang signifikan terhadap jumlah emisi karbon yang dilepaskan ke atmosfer (Tian et al., 2021). Temuan ini sejalan dengan berbagai studi sebelumnya yang menyatakan bahwa alih fungsi lahan pertanian dan vegetasi alami menjadi kawasan permukiman merupakan salah satu faktor utama dalam peningkatan emisi karbon global (Zhang et al., 2023).

Setiap kategori lahan menunjukkan karakteristik emisi karbon yang berbeda, mencerminkan intensitas alih fungsi dan pola pengelolaan lahan selama kurun waktu tersebut. Pada lahan pertanian, fluktuasi emisi karbon cukup mencolok. Selama periode 2015-2017, lahan ini menunjukkan kemampuan menyerap karbon dengan emisi negatif sebesar 3.351,68 Ton CO_2 -eq. Namun, tren ini mengalami perubahan drastis pada periode selanjutnya, yaitu 2017-2019 (-1.433,50 Ton CO_2 -eq), 2019-2021 (-1.331,70

Ton Ton CO₂-eq), dan 2021-2023 (-941,12 Ton Ton CO₂-eq). Penurunan ini mengindikasikan kemungkinan adanya konversi lahan pertanian menjadi permukiman, atau perubahan dalam teknik budidaya yang menurunkan kapasitas serapan karbon, sebagaimana juga dijelaskan oleh Zhang et al (2023) dan Nave et al (2024) dalam studi terkait cadangan karbon tanah dan alih fungsi lahan.



Gambar 4.6 Perubahan Ton CO₂-eq per Jenis Lahan di Kecamatan Labuapi Tahun 2015–2023

Kategori permukiman menunjukkan kontribusi terbesar terhadap emisi karbon. Puncak tertinggi tercatat pada periode 2017-2019 dengan angka mencapai 4.543,57 Ton CO₂-eq, yang mengindikasikan ekspansi besar-besaran kawasan permukiman di wilayah ini. Meskipun terjadi penurunan relatif pada periode 2019-2021 (1.302,61 Ton CO₂-eq) dan 2021-2023 (1.448,04 Ton CO₂-eq), nilai emisi tetap tinggi. Hal ini memperkuat temuan global bahwa perluasan kawasan terbangun di wilayah urban, khususnya di Asia dan Tiongkok, menjadi kontributor utama emisi karbon dalam skala regional (Jiaping et al., 2025; Tang & Hu, 2023; Yuan et al., 2024).

Sementara itu, lahan kebun mengalami penurunan stok karbon yang signifikan. Pada periode 2015-2017, emisi negatif sebesar -7.388,03 Ton CO₂-eq menandakan kemampuan penyerapan yang cukup tinggi, namun menurun tajam menjadi -9.584,15 Ton CO₂-eq pada 2017-2019. Pada dua periode terakhir terjadi sedikit perbaikan, masing-masing sebesar -2.554,18 dan -2.279,67 Ton CO₂-eq, namun tetap menunjukkan tren kehilangan stok karbon. Penurunan ini sangat mungkin dipicu oleh degradasi, deforestasi, atau konversi lahan kebun menjadi penggunaan lain yang lebih intensif (Houghton & Castanho, 2023; Nave et al., 2024; Shiraishi et al., 2023).

Tren serupa juga tercermin pada lahan tegalan, yang mencatat emisi negatif sebesar -6.362,58 Ton CO₂-eq pada 2015-2017 dan -4.494,02 Ton CO₂-eq pada 2017-2019. Meskipun terdapat peningkatan positif pada 2019–2021 sebesar 764,77 Ton CO₂-eq, indikasi pemulihan lahan namun kembali terjadi penurunan menjadi -551,90 Ton CO₂-eq pada 2021-2023. Kondisi ini memperlihatkan bahwa pemulihan yang

dilakukan belum cukup konsisten atau efektif dalam meningkatkan kapasitas penyimpanan karbon secara berkelanjutan (Zhang et al., 2023).

Berbeda dengan pola lahan lain, semak belukar menunjukkan arah pemulihan yang menjanjikan. Emisi negatif awal sebesar -2.332,86 Ton CO₂-eq (2015-2017) dan -511,59 Ton CO₂-eq (2017-2019) beralih menjadi positif pada 2019-2021 sebesar 531,24 Ton CO₂-eq, meskipun kembali menurun menjadi 74,49 Ton CO₂-eq pada 2021-2023. Kecenderungan ini mengindikasikan keberhasilan regenerasi vegetasi sekunder sebagai salah satu mekanisme alami pemulihan cadangan karbon (Sasmito et al., 2021).

Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa sektor permukiman dan pertanian berkontribusi besar terhadap peningkatan emisi CO₂, sedangkan kehilangan stok karbon paling nyata terjadi pada kebun dan tegalan. Di sisi lain, semak belukar memiliki potensi pemulihan yang dapat dioptimalkan melalui rehabilitasi vegetasi. Oleh karena itu, perubahan penggunaan lahan dan praktik pengelolaan yang tidak selaras dengan prinsip keberlanjutan menjadi faktor kritis yang menentukan fluktuasi emisi karbon. Maka, perumusan kebijakan pengelolaan lahan yang berbasis pada konservasi, kontrol alih fungsi, serta tata ruang yang konsisten sangat diperlukan untuk mendukung mitigasi perubahan iklim baik secara lokal maupun regional (L. Li et al., 2024; L. Liu et al., 2024; Wang, 2024).

4.4 Evaluasi Kesesuaian Alih Fungsi Lahan dengan RTRW

Berdasarkan dokumen Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Lombok Barat Tahun 2011–2031, Kecamatan Labuapi ditetapkan sebagai bagian dari Kawasan Tunggal Kendali dan termasuk dalam Kawasan Mataram Metro yang memiliki fungsi strategis sebagai Kawasan Pusat Kegiatan. Secara khusus, wilayah ini difokuskan untuk pengembangan budidaya pertanian tanaman pangan, hortikultura, dan perkebunan. Luas lahan untuk tanaman pangan di Kecamatan Labuapi mencapai 1.450 hektare. Salah satu wilayah dengan penerapan zonasi budidaya yang tegas adalah Daerah Irigasi Bengkel di Desa Bengkel, yang mendukung produksi padi intensif melalui sistem irigasi teknis yang efisien (Pemerintah Kabupaten Lombok Barat, 2011).

RTRW mengatur bahwa lahan irigasi teknis tidak boleh dialihfungsikan, kecuali untuk kegiatan terbangun yang mendukung pertanian, dengan batas maksimal 15% dari luas sawah. Sebaliknya, lahan non-irigasi teknis dan non-kawasan lindung dapat dialokasikan untuk pengembangan permukiman. Ketentuan ini bertujuan menjaga keberlanjutan sektor pertanian sekaligus mengarahkan pertumbuhan wilayah secara terkendali.

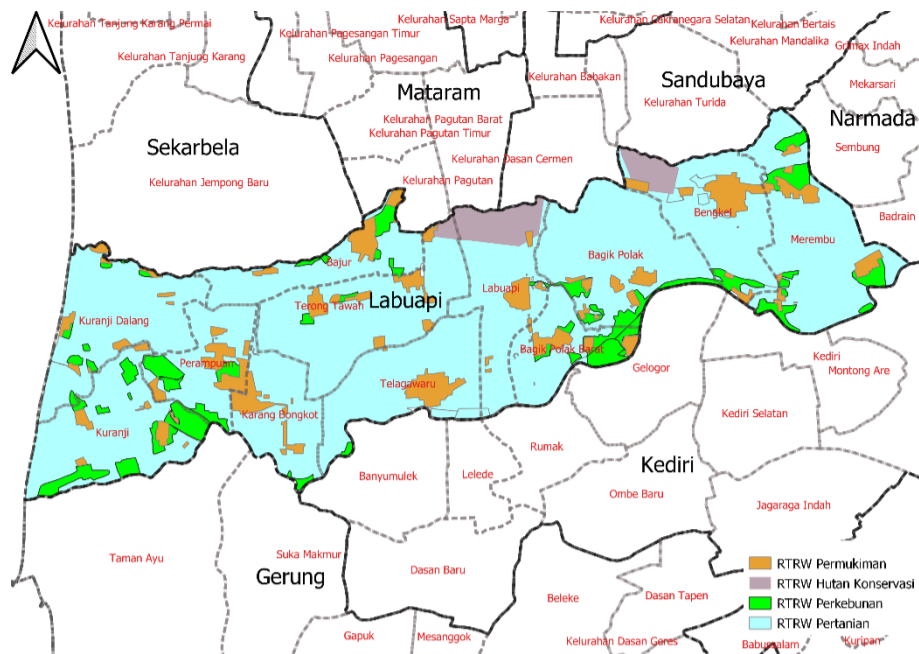
Dalam konteks ekologi, Kecamatan Labuapi juga memiliki Ruang Terbuka Hijau (RTH) yang terdiri dari lahan pertanian, taman kota, taman permukiman, hutan kota, dan jalur hijau, dengan luas RTH di ibu kota kecamatan mencapai 60,68 hektare. Luas ibu kota Kecamatan Labuapi sendiri tercatat sebesar 220 hektare. Keberadaan RTH ini berperan penting dalam menunjang kualitas lingkungan dan stabilitas ruang terbuka di

wilayah penyangga Kota Mataram (Pemerintah Kabupaten Lombok Barat, 2011). Selain itu, Kecamatan Labuapi juga tergolong dalam Kawasan Permukiman dan Kawasan Perdagangan yang strategis untuk mendukung aktivitas ekonomi regional, bahkan menjadi bagian dari Kawasan Strategis Provinsi dengan peran penting dalam kepentingan ekonomi makro. Oleh karena itu, arah pengembangan wilayah perlu mempertimbangkan keseimbangan antara pembangunan dan keberlanjutan lingkungan.

Kawasan yang berpotensi dialokasikan untuk pengembangan permukiman pun harus memenuhi sejumlah kriteria, antara lain bukan merupakan lahan irigasi teknis, bukan termasuk kawasan lindung, dan tidak berada dalam kawasan budidaya pertanian tanaman pangan seluas 1.450 hektare. Bahkan dalam kawasan pertanian sendiri, kegiatan terbangun hanya diperbolehkan apabila mendukung aktivitas pertanian, dengan batas maksimal 15% dari total luas lahan sawah. Penataan semacam ini sejalan dengan pendekatan perlindungan lahan produktif sekaligus pengendalian konversi ruang yang berlebihan (Pemerintah Kabupaten Lombok Barat, 2011).

Peta tata ruang yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh melalui proses digitasi ulang dari dokumen RTRW resmi. Namun hingga saat penelitian dilakukan, belum ditemukan dokumen evaluasi lima tahunan sebagaimana diamanatkan dalam prinsip perencanaan spasial berkelanjutan. Ketiadaan evaluasi ini menimbulkan potensi ketidaksesuaian antara kondisi aktual penggunaan lahan dengan rencana tata ruang yang semestinya bersifat adaptif terhadap dinamika sosial, ekonomi, dan lingkungan (Pemerintah Kabupaten Lombok Barat, 2011).

Selain itu, dalam interpretasi peta tutupan lahan berbasis citra satelit, kawasan hutan konservasi dikategorikan sebagai kebun, karena secara spektral menunjukkan karakteristik vegetasi lebat menyerupai hutan sekunder. Hal ini disebabkan oleh kesamaan band reflektansi dan struktur kanopi, sehingga secara klasifikasi fungsional digabungkan ke dalam satu kategori (Pemerintah Kabupaten Lombok Barat, 2011).



Gambar 4.7 Peta RTRW Kabupaten Lombok Barat 2011-2031 (Hasil Digitasi Ulang)

Namun demikian, dokumen RTRW Kabupaten Lombok Barat 2011-2031 tidak secara eksplisit mencantumkan proyeksi luasan zonasi hingga akhir masa perencanaan tahun 2031. Ketiadaan data kuantitatif ini menjadi tantangan dalam mengevaluasi efektivitas perencanaan tata ruang, serta menyulitkan pengukuran terhadap pencapaian target spasial secara terukur dan fungsional. Selain itu, hingga saat penelitian ini dilakukan, tidak ditemukan dokumen evaluasi lima tahunan sebagaimana seharusnya disusun menurut prinsip perencanaan spasial berkelanjutan. Ketidakhadiran evaluasi ini dapat menimbulkan kesenjangan antara rencana tata ruang dan realitas dinamika penggunaan lahan di lapangan, yang kerap berubah akibat tekanan sosial, ekonomi, maupun lingkungan.

Tabel 4.4 Alokasi Penggunaan Lahan Kecamatan Labuapi

Jenis Lahan	Luas RTRW 2011-2031 (Ha)*	Luas Aktual (Ha)				
		2015	2017	2019	2021	2023
Permukiman	234	358,94	467,73	1087,31	1264,93	1462,39
Pertanian	1881	1176,18	1633,22	1437,75	1256,15	1127,82
Kebun	261	640,26	464,90	237,41	176,78	122,67
Tegalan	0	432,88	204,26	42,78	70,26	50,43
Semak Belukar	0	224,66	63,18	27,76	64,54	69,69

*berdasarkan hasil digitasi ulang RTRW Kabupaten Lombok Barat

Tabel 4.5 Selisih luas lahan RTRW 2011-2031 dengan Lahan Aktual

Jenis Lahan	Luas RTRW 2011-2031 (Ha)*	Luas Aktual (Ha)				
		2015	2017	2019	2021	2023
Permukiman	234	-124,94	-233,73	-853,31	-1030,93	-1228,39
Pertanian	1881	-704,82	-247,78	-443,25	-624,85	-753,18
Kebun	261	-379,26	-203,90	23,59	84,22	138,33
Tegalan	0	-432,88	-204,26	-42,78	-70,26	-50,43

Jenis Lahan	Luas RTRW 2011-2031 (Ha)*	Luas Aktual (Ha)				
		2015	2017	2019	2021	2023
Semak Belukar	0	-224,66	-63,18	-27,76	-64,54	-69,69

*berdasarkan hasil digitasi ulang RTRW Kabupaten Lombok Barat

Tabel 4.6 Persentase Kesesuaian Penggunaan Kecamatan Labuapi Berdasarkan RTRW Kabupaten Lombok Barat 2011-2031

Jenis Lahan	Luas RTRW 2011-2031 (Ha)*	Luas Aktual (%)				
		2015	2017	2019	2021	2023
Permukiman	8,26	12,67	16,51	38,38	44,65	51,62
Pertanian	66,40	41,52	57,65	50,75	44,34	39,81
Kebun	9,21	22,60	16,41	8,38	6,24	4,33
Tegalan	0,00	15,28	7,21	1,51	2,48	1,78
Semak Belukar	0,00	7,93	2,23	0,98	2,28	2,46

*berdasarkan hasil digitasi ulang RTRW Kabupaten Lombok Barat

Berdasarkan Tabel 4.3, Tabel 4.4 dan Tabel 4.5 terdapat ketidaksesuaian yang signifikan antara pola penggunaan lahan eksisting dan alokasi dalam RTRW. Lahan permukiman yang dalam RTRW hanya dialokasikan sebesar 234 Ha (8,26% dari luas kecamatan), telah berkembang pesat menjadi 467,73 Ha pada Tahun 2017, 1.087,31 Ha pada 2019, dan mencapai 1462,39 Ha pada 2023. Hal ini menunjukkan kelebihan sebesar 1.228,39 Ha atau sekitar -43,36% di luar rencana. Sementara itu, lahan pertanian yang seharusnya mencapai 1.881 Ha (66,40%) justru mengalami penurunan yang sangat drastis. Pada tahun 2015, luas lahan pertanian tercatat 1176,18 Ha dan terus menurun, menjadi 1127,82 Ha pada 2023. Selisih -753,18 Ha atau -26,59% dari alokasi perencanaan, yang mencerminkan penurunan yang sangat signifikan. Lahan kebun mengalami sedikit penurunan dari alokasi RTRW sebesar 261 Ha (9,21%) menjadi 122,67 Ha pada 2023, dengan selisih sebesar -138,33 Ha atau -4,88% dari rencana. Meskipun penurunan ini tidak sebesar sektor lainnya, namun masih menunjukkan adanya alih fungsi lahan..

Alih fungsi ini berdampak pada menurunnya kapasitas lingkungan, seperti hilangnya ruang resapan dan degradasi kualitas tanah. Dampak yang ditimbulkan termasuk meningkatnya risiko banjir, erosi, dan polusi, terutama karena hilangnya tutupan vegetasi alami (Pham & Lin, 2023; Yang et al., 2021). Penggunaan teknologi seperti SIG dan citra satelit menjadi penting dalam mendeteksi dan mengantisipasi perubahan secara presisi. Hal ini menunjukkan pentingnya integrasi antara kebijakan spasial dan strategi konservasi lingkungan yang tangguh (Avtar et al., 2020).

Di sisi lain, risiko bencana menjadi dimensi krusial yang tidak bisa diabaikan. Sekitar 206,23 Ha kawasan permukiman Kecamatan Labuapi berada di zona risiko tsunami, memperparah kerentanan penduduk. Penataan ruang harus mulai mengintegrasikan mitigasi bencana ke dalam perencanaan pembanguna (Noviantoro et al., 2022). Penguatan regulasi zonasi berbasis risiko serta pengawasan berbasis spasial

menjadi kebutuhan mendesak (Avtar et al., 2020). Temuan ini serupa dengan kasus global, namun memiliki konteks lokal yang khas, yaitu lemahnya implementasi RTRW dan kompleksitas risiko bencana (Latue & Latue, 2023; Pham & Lin, 2023). Oleh karena itu, kebijakan pengelolaan ruang perlu disesuaikan dengan karakter fisik dan sosial lokal demi mewujudkan pembangunan berkelanjutan dan tangguh bencana.

Analisis ini bertujuan mengidentifikasi luasan dan distribusi RTH di Kecamatan Labuapi berdasarkan data spasial dan dokumen RTRW Kabupaten Lombok Barat 2011-2031, guna mengetahui kesesuaian antara rencana dan kondisi aktual penggunaan lahan dalam tabel berikut.

Tabel 4.7 Perubahan Luasan RTH di Kecamatan Labuapi Berdasarkan Data Spasial 2015-2023

Kategori Lahan	Luas Lahan (Ha)				
	2015	2017	2019	2021	2023
Pertanian	113,21	148,59	112,24	64,75	70,11
Kebun	8,87	27,24	18,41	64,75	19,67
Tegalan	43,23	17,80	8,21	9,66	19,32
Semak Belukar	31,99	2,27	5,90	4,40	9,64
Total	197,30	195,89	144,76	143,55	118,73

Kecamatan Labuapi memiliki ibu kota kecamatan di Desa Labuapi dengan luas wilayah sekitar 220 hektar. Berdasarkan dokumen Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Lombok Barat Tahun 2011-2023, Ruang Terbuka Hijau (RTH) untuk ibu kota Kecamatan Labuapi ditetapkan seluas kurang lebih 60,68 hektar (Pemerintah Kabupaten Lombok Barat, 2011). Wilayah ini memiliki kategori lahan berupa permukiman, pertanian, kebun, tegalan, dan semak belukar, di mana pertanian, kebun, tegalan, dan semak belukar termasuk dalam klasifikasi RTH yang berperan penting dalam fungsi ekologis dan penyimpanan karbon (Muhammad et al., 2024).

Analisis perubahan luas lahan selama periode 2015 hingga 2023 menunjukkan bahwa lahan permukiman mengalami peningkatan signifikan dari 22,7 hektar menjadi 101,2 hektar. Sebaliknya, lahan RTH (pertanian, kebun, tegalan, dan semak belukar) mengalami fluktuasi dengan total luasan yang secara umum masih mendekati atau melebihi ketentuan RTRW sebesar 60,68 hektar. Kondisi ini mencerminkan bahwa meskipun urbanisasi menekan lahan hijau, pengelolaan tata ruang sesuai RTRW masih mampu mempertahankan ruang terbuka hijau yang memadai (Setyaningrum & Amudi, 2023).

Dari segi stok karbon, data menunjukkan tren penurunan dari 1882,72 ton/ha pada 2015 menjadi 1166,00 ton/ha pada 2023, dengan penurunan yang tajam terjadi pada 2021. Penurunan ini sejalan dengan berkurangnya luas lahan RTH yang berkapasitas tinggi dalam menyimpan karbon, terutama akibat ekspansi lahan permukiman (Ramadhani et al., 2023). Namun demikian, beberapa peningkatan stok karbon di tahun-tahun tertentu menandakan adanya upaya pelestarian atau fluktuasi alami yang mempengaruhi kapasitas penyimpanan karbon di kawasan tersebut (L. Liu et al., 2024).

Meskipun terdapat peningkatan signifikan luas permukiman yang berpotensi menekan fungsi ekosistem, luasan ruang terbuka hijau di Kecamatan Labuapi selama periode 2011–2023 masih sesuai dengan ketentuan RTRW Lombok Barat. Hal ini menjadi indikasi positif bahwa fungsi ekologis dan stok karbon di wilayah ini masih dapat dipertahankan dengan pengelolaan tata ruang yang berkelanjutan (Briassoulis, 2019). Namun, perlu perhatian khusus terhadap tekanan urbanisasi agar tidak mengurangi kapasitas ekologis dan stok karbon secara signifikan di masa mendatang, sesuai dengan arahan kebijakan RTRW periode tersebut.

Analisis kesesuaian kawasan budidaya di Kecamatan Labuapi dilakukan untuk menilai sejauh mana penggunaan lahan eksisting selaras dengan peruntukan ruang dalam dokumen RTRW Kabupaten Lombok Barat dalam tabel berikut. Penilaian ini penting untuk mengidentifikasi potensi pelanggaran tata ruang serta mengevaluasi tekanan terhadap fungsi lahan pertanian, hortikultura, dan Perkebunan.

Tabel 4.8 Tingkat Kesesuaian Fungsi Lahan Budidaya Kecamatan Labuapi Berdasarkan RTRW Kabupaten Lombok Barat Tahun 2011-2031

Jenis Lahan	Luas Lahan (Ha)				
	2015	2017	2019	2021	2023
Pertanian	1176,18	1633,22	1437,75	1256,15	1127,82
Kebun	640,26	464,90	237,41	176,78	122,67
Tegalan	432,88	204,26	42,78	70,26	50,43
Total	2249,32	2302,38	1717,93	1503,19	1300,91

Berdasarkan RTRW Kabupaten Lombok Barat 2011–2031, Kecamatan Labuapi memiliki kawasan budidaya pertanian pangan seluas sekitar 1.450 hektar, yang mencakup beberapa kategori lahan utama, yaitu lahan pertanian tanaman pangan, hortikultura, dan Perkebunan (Pemerintah Kabupaten Lombok Barat, 2011). Dalam konteks ini, kategori lahan permukiman, kebun, dan tegalan juga termasuk ke dalam kawasan budidaya pangan, menunjukkan keterkaitan erat antara perkembangan permukiman dengan fungsi produksi pangan serta kapasitas penyimpanan karbon yang berasal dari kebun dan tegalan yang masih tersisa (Muhammad et al., 2024).

Analisis data luas lahan periode 2015 hingga 2023 mengindikasikan fluktuasi signifikan, di mana lahan pertanian mencapai puncaknya pada 2017 sebesar 1.633,22 hektar sebelum menurun menjadi 1.127,82 hektar pada 2023. Luas kebun dan tegalan juga mengalami penurunan signifikan, masing-masing dari 640,26 hektar dan 432,88 hektar pada 2015 menjadi 122,67 hektar dan 50,43 hektar pada 2023. Sementara itu, luas permukiman yang juga termasuk dalam kawasan budidaya pangan meningkat secara signifikan dari 22,7 hektar pada 2015 menjadi 101,2 hektar pada 2023. Secara keseluruhan, luas kawasan budidaya pangan (termasuk permukiman, kebun, dan tegalan) mengalami penurunan dari 2.249,32 hektar menjadi 1.300,91 hektar selama periode tersebut.

Perubahan ini memiliki dampak langsung terhadap stok karbon kawasan tersebut. Total stok karbon menurun drastis dari 29.195,05 ton pada 2015 menjadi 14.494,44 ton

pada 2023. Penurunan stok karbon ini paling dominan terjadi pada lahan kebun dan tegalan yang secara ekologis memiliki kapasitas penyimpanan karbon tinggi, sementara lahan permukiman yang meningkat justru memiliki kapasitas karbon yang jauh lebih rendah (Zhang et al., 2023). Fenomena ini menunjukkan adanya pergeseran fungsi lahan dari kawasan dengan kapasitas penyimpanan karbon tinggi ke kawasan dengan fungsi dominan permukiman, sehingga berpotensi menurunkan kualitas ekologis dan kemampuan mitigasi perubahan iklim di wilayah tersebut (Zhu et al., 2023).

Meskipun luas kawasan budidaya pangan di Kecamatan Labuapi masih tergolong cukup besar, tren penurunan yang terjadi mulai tidak sesuai dengan ketentuan RTRW Kabupaten Lombok Barat 2011-2031 pada tahun 2023. Peningkatan signifikan luas permukiman dalam kawasan budidaya pangan berisiko menggeser fungsi lahan yang semestinya mendukung produksi pangan dan penyimpanan karbon (Jiaping et al., 2025). Oleh sebab itu, pengelolaan tata ruang yang berkelanjutan serta penguatan perlindungan kawasan budidaya pangan menjadi sangat krusial untuk menjaga keseimbangan ekologis dan ketahanan lingkungan di Kecamatan Labuapi.

4.5 Rekomendasi Kebijakan Mitigasi Dampak Alih Fungsi Lahan Terhadap Stok Karbon

Metode ΔC memberikan gambaran kuantitatif yang jelas terhadap dinamika perubahan stok karbon di Kecamatan Labuapi selama periode 2015-2023. Hasil analisis menunjukkan bahwa kehilangan stok karbon terbesar terjadi pada lahan kebun sebesar -2.613,86 ton C dan tegalan sebesar -1.735,25 ton C, yang mengindikasikan dampak signifikan dari alih fungsi vegetasi produktif menjadi permukiman. Sebaliknya, semak belukar mencatat peningkatan stok karbon sebesar +238,83 ton C, mencerminkan potensi pemulihan vegetasi sekunder di beberapa wilayah. Lahan permukiman memang mencatat akumulasi positif sebesar +2.206,91 ton C, namun peningkatan ini lebih disebabkan oleh ekspansi spasial lahan terbangun ketimbang kemampuan intrinsik permukiman dalam menyimpan karbon, karena densitas karbonnya yang rendah dan fungsi ekologis yang terbatas (Bhan et al., 2021; Edmondson et al., 2012; Huang et al., 2024; Robinson et al., 2023).

Jika konversi nilai ΔC dijadikan sebagai indikator emisi CO₂, maka terlihat bahwa laju ekspansi lahan terbangun secara langsung meningkatkan emisi gas rumah kaca (GRK). Puncak emisi tertinggi terjadi pada lahan permukiman sebesar +4.543,57 ton CO₂/Ha/Tahun pada periode 2017-2019. Sebaliknya, lahan kebun dan tegalan menunjukkan tren emisi negatif yang kuat, dengan lahan kebun mencatat -9.584,15 ton CO₂/Ha/Tahun pada periode yang sama, menandakan kehilangan karbon dalam skala besar akibat degradasi dan alih fungsi (Houghton & Castanho, 2023; Nave et al., 2024). Akumulasi karbon pada lahan permukiman sebesar +2.206,91 ton C tidak mencerminkan fungsi ekologis intrinsik lahan, melainkan hasil ekspansi spasial

permukiman yang rendah nilai densitas karbonnya (Bhan et al., 2021; Edmondson et al., 2012; Huang et al., 2024; Robinson et al., 2023).

Strategi mitigasi harus mencakup restorasi ekosistem vegetatif, terutama pada lahan kebun dan tegalan yang mengalami degradasi. Agroforestri menjadi pendekatan yang sangat relevan karena dapat menyimpan hingga 43 ton C/ha dalam sistem lahan tropis (Gautam et al., 2025; Joshi et al., 2024; Raihan, 2024). Sistem ini mengintegrasikan pohon dan tanaman semusim, meningkatkan kapasitas simpan karbon, diversifikasi ekonomi petani, serta memperlambat alih fungsi lahan (Siarudin et al., 2021). Pelestarian lahan kebun dan revegetasi pada lahan semak serta tegalan harus dilakukan melalui pendekatan konservasi berbasis vegetasi lokal yang adaptif secara ekologis, seperti penggunaan tanaman pohon *Pterocarpus indicus*, *Shorea robusta*, serta tanaman semusim seperti kacang hijau (*Vigna radiata*) dan jagung (*Zea mays*), yang dapat mendukung keberlanjutan ekosistem. Pendekatan ini telah diterapkan di lima daerah, Ciamis, Garut, Tasikmalaya, dan Pangandaran serta pada wilayah di Kalimantan Tengah dan Sumatra Selatan, dengan tujuan meningkatkan ketahanan lahan terhadap kebakaran sekaligus menjaga fungsi ekosistem (Saharjo & Novita, 2022; Siarudin et al., 2021).

Pendekatan perencanaan tata ruang berkelanjutan sangat penting dalam mengendalikan emisi GRK. Pemerintah daerah perlu menetapkan zona karbon strategis dalam dokumen RTRW yang secara spesifik melindungi lahan-lahan bernilai karbon tinggi, seperti kebun rakyat, semak belukar, dan hutan sekunder, serta mengatur batasan alih fungsi lahan untuk permukiman dan industri elain itu, perlu diterapkan insentif dan sanksi berbasis karbon, misalnya skema pembayaran jasa ekosistem (PES) bagi pemilik lahan yang mempertahankan stok karbon atau denda bagi alih fungsi yang tidak sesuai zonasi. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip perencanaan spasial adaptif, yang menekankan integrasi aspek sosial-biofisik dan mitigasi risiko ekologis dalam pengambilan keputusan tata ruang (Briassoulis, 2019; Setiawan et al., 2015; Yolanda et al., 2022).

Sebagai instrumen insentif ekonomi, skema *Payment for Ecosystem Services* (PES) dapat diterapkan untuk memberi kompensasi kepada pihak yang menjaga stok karbon melalui praktik pengelolaan lahan berkelanjutan, seperti pelestarian lahan kebun dan revegetasi pada lahan semak serta tegalan (Hertel et al., 2019; Saharjo & Novita, 2022; Siarudin et al., 2021). Mekanisme PES memungkinkan penerima manfaat membayar penyedia jasa ekosistem atas upaya mereka menjaga atau meningkatkan kualitas ekosistem, dengan sifat sukarela, bersyarat (*quid pro quo*), dan berbasis kontrak antara dua pihak utama: penyedia jasa ekosistem, seperti petani, masyarakat adat, atau pengelola lahan, serta penerima manfaat, yang dapat berupa individu, perusahaan, pemerintah, atau kelompok masyarakat (Kaiser et al., 2021).

Penetapan baseline ΔC dilakukan melalui analisis citra Landsat 8 tahun 2015-2023 dan survei lapangan, diverifikasi sesuai Peraturan Pemerintah No. 60 Tahun 2012,

sedangkan valuasi berbasis harga pasar karbon sukarela dengan skema kontrak sesuai Permen LHK P.33/2016 serta sistem MRV (*Monitoring, Reporting, Verification*) yang ketat (Hertel et al., 2019). Pelaksanaan PES di Labuapi harus mengacu pada regulasi terbaru, termasuk Permen LHK No. 21 Tahun 2022 dan POJK No. 14 Tahun 2023. Kegiatan mitigasi harus terdaftar dalam Sistem Pengelolaan Nilai Ekonomi Karbon (SPEK-EK), terverifikasi, dan didaftarkan di Registry Nasional sebelum dapat diperdagangkan melalui Bursa Karbon Indonesia (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2022; Otoritas Jasa Keuangan, 2023).

Untuk mendukung efektivitas skema PES, unit pengelola dapat dibentuk di tingkat kecamatan sebagai lembaga pelaksana yang berfungsi menangani registrasi peserta, fasilitasi pelatihan konservasi dalam hal ini yakni agroforestri, penyusunan kontrak, serta koordinasi mekanisme MRV (Hertel et al., 2019). Setiap kontrak PES dapat dirancang berbasis luasan tertentu yang dikelola oleh kelompok petani, dengan besaran pembayaran ditentukan melalui estimasi nilai jasa ekosistem yang dihasilkan, misalnya dari fungsi penyimpanan karbon (Ding et al., 2019). Besaran kompensasi ini bersifat fleksibel, dapat disesuaikan dengan baseline nilai jasa ekosistem lokal serta mekanisme pasar yang berlaku, baik melalui pasar karbon sukarela maupun skema perdagangan karbon formal (Aulia et al., 2020). Pendekatan ini sejalan dengan prinsip PES yang menekankan kesepadanan antara degradasi ekosistem, manfaat yang dipulihkan, serta insentif yang diterima oleh penyedia jasa ekosistem (Kaiser et al., 2021).

Melalui integrasi pendekatan agroforestri, kebijakan tata ruang berkelanjutan, penguatan kelembagaan PES, serta partisipasi aktif masyarakat lokal, Kecamatan Labuapi berpotensi menjadi model mitigasi perubahan iklim berbasis lahan yang dapat direplikasi di wilayah lain.

BAB V **PENUTUP**

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis alih fungsi lahan menjadi permukiman dan dampaknya terhadap stok karbon di Kecamatan Labuapi dalam rentang waktu 2015–2023, serta mengevaluasi kesesuaiannya dengan dokumen Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Lombok Barat. Berdasarkan hasil interpretasi citra satelit dan klasifikasi tutupan lahan, ditemukan bahwa terjadi tren peningkatan signifikan pada luas lahan permukiman dari 358,94 Ha pada 2015 menjadi 1462,39 Ha pada 2023. Peningkatan ini berlangsung seiring dengan penurunan luas lahan pertanian, kebun, dan tegalan, yang menunjukkan adanya alih fungsi massif kawasan vegetatif ke kawasan terbangun.

Dampak alih fungsi lahan terhadap stok karbon di wilayah penelitian terlihat sangat nyata. Selama periode 2015–2023, alih fungsi lahan vegetatif seperti kebun, tegalan, pertanian, dan semak belukar menjadi permukiman di Kecamatan Labuapi telah menyebabkan kehilangan stok karbon yang signifikan. Berdasarkan analisis ΔC , total kehilangan stok karbon mencapai -14.700,61 ton C, dengan kontribusi terbesar berasal dari lahan kebun sebesar -8.204,31 ton C, diikuti oleh tegalan sebesar -6.061,46 ton C. Penurunan stok karbon ini berdampak langsung pada peningkatan emisi CO₂, di mana hasil konversi estimasi menunjukkan total emisi yang dihasilkan mencapai 26.951,12 ton CO₂. Secara rinci, akumulasi emisi tertinggi berasal dari lahan permukiman sebesar +7.294,22 ton CO₂-eq, sedangkan penurunan terbesar dari lahan kebun mencapai -21.806,03 ton CO₂-eq. Temuan ini menegaskan bahwa alih fungsi lahan ke permukiman berimplikasi langsung terhadap pelepasan emisi gas rumah kaca yang signifikan, sehingga perlu mendapat perhatian serius dalam perencanaan tata guna lahan yang berkelanjutan.

Evaluasi terhadap kesesuaian penggunaan lahan permukiman dengan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) menunjukkan ketidaksesuaian yang cukup besar. Berdasarkan overlay spasial antara hasil interpretasi dan zonasi RTRW Kabupaten Lombok Barat Tahun 2011-2031, hanya sekitar 17,41% dari luas aktual lahan permukiman tahun 2023 yang sesuai dengan rencana tata ruang. Artinya, sebanyak 82,59% dari lahan permukiman yang ada tidak sesuai dengan zonasi yang ditetapkan dalam RTRW. Ketidaksesuaian ini mencerminkan lemahnya pengawasan dan pengendalian pemanfaatan ruang, serta potensi konflik tata guna lahan di masa depan yang dapat memperburuk kondisi lingkungan dan stok karbon.

Sebagai bentuk mitigasi alih fungsi lahan di Kecamatan Labuapi, direkomendasikan penguatan perlindungan lahan dengan stok karbon tinggi melalui revisi zonasi RTRW dan penetapan zona karbon strategis, penerapan agroforestri pada lahan kebun, semak belukar, dan tegalan menggunakan vegetasi lokal adaptif (*Pterocarpus indicus*, *Shorea robusta*, *Vigna radiata*, *Zea mays*) untuk

meningkatkan sequestrasi karbon dan ketahanan lahan, serta pengembangan skema insentif berbasis jasa ekosistem (PES) dengan kontrak minimal 5 ha per kelompok petani, disesuaikan dengan harga pasar sukarela atau mekanisme formal. Pemantauan spasial dan verifikasi lapangan secara berkala menjadi dasar pengambilan keputusan, sementara target konservasi luasan lahan kritis disesuaikan dengan prioritas ekologi dan kapasitas pengelolaan lokal. Integrasi strategi ini bersama partisipasi masyarakat menjadikan Labuapi model mitigasi perubahan iklim berbasis lahan yang dapat direplikasi di wilayah tropis lain.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa alih fungsi lahan di Kecamatan Labuapi memiliki dampak ekologis yang serius, terutama terhadap cadangan karbon dan ketidaksesuaian terhadap rencana tata ruang. Oleh karena itu, intervensi kebijakan yang berbasis konservasi dan bukti ilmiah sangat diperlukan untuk menyeimbangkan kebutuhan pembangunan dengan perlindungan ekosistem.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian mengenai alih fungsi lahan menjadi permukiman dan dampaknya terhadap stok karbon di Kecamatan Labuapi, saran utama ditujukan kepada kalangan akademisi dan peneliti. Temuan ini dapat dijadikan rujukan untuk mengembangkan kajian lanjutan mengenai keterkaitan antara perubahan penggunaan lahan, dinamika stok karbon, dan keberlanjutan ekosistem. Aplikasinya secara praktis dapat dilakukan melalui pengembangan model spasial yang mengintegrasikan data tutupan lahan dan estimasi karbon sebagai alat evaluasi kebijakan tata ruang. Selain itu, hasil penelitian juga dapat dimanfaatkan dalam kegiatan akademik, seperti pengayaan materi pembelajaran, penelitian kolaboratif lintas disiplin, serta pengembangan kerangka konseptual pembangunan rendah karbon yang lebih aplikatif dan relevan dengan kebutuhan daerah.

Untuk pengembangan penelitian di masa depan, diperlukan eksplorasi terhadap integrasi metodologi prediktif, seperti *Cellular Automata-Markov* (CA-Markov) atau *Land Change Modeler* (LCM), guna memproyeksikan alih fungsi lahan dan stok karbon pada berbagai skenario pembangunan. Pemanfaatan data resolusi tinggi atau kombinasi citra multisensor akan membantu meningkatkan akurasi klasifikasi tutupan lahan dan estimasi karbon. Penelitian juga sebaiknya diperluas ke wilayah lain yang mengalami tekanan pembangunan serupa untuk memperoleh gambaran komparatif yang lebih menyeluruh. Integrasi aspek sosial-ekonomi, terutama faktor pendorong konversi lahan di tingkat rumah tangga, penting dilakukan agar analisis lebih komprehensif dan tidak terbatas pada pendekatan spasial semata.

Selain itu, untuk mengatasi keterbatasan penelitian ini, seperti penggunaan nilai rata-rata stok karbon per jenis lahan dan keterbatasan dalam metode estimasi emisi, penelitian mendatang disarankan melakukan pengukuran langsung stok karbon di lapangan (*in-situ sampling*). Pengukuran ini sebaiknya mempertimbangkan kedalaman tanah serta kandungan karbon organik secara vertikal agar estimasi yang

diperoleh lebih representatif. Penerapan pendekatan multiparameter dan integratif akan meningkatkan validitas hasil serta memungkinkan generalisasi temuan ke wilayah lain dengan karakter biofisik serupa. Dengan demikian, penelitian di masa depan diharapkan mampu menghasilkan temuan yang lebih komprehensif, aplikatif, dan relevan untuk mendukung upaya mitigasi perubahan iklim berbasis tata ruang dan pengelolaan lahan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, A., Ramli, I., & Nizamuddin, N. (2023). Impact of land use and land cover changes on carbon stock in Aceh Besar District, Aceh, Indonesia. *Journal of Water and Land Development*, 57, 159–166. <https://doi.org/10.24425/jwld.2023.145346>
- Adame, M. F., Kelleway, J., Krauss, K. W., Lovelock, C. E., Adams, J. B., Trevathan-Tackett, S. M., Noe, G., Jeffrey, L., Ronan, M., Zann, M., Carnell, P. E., Iram, N., Maher, D. T., Murdiyarso, D., Sasmito, S., Tran, D. B., Dargusch, P., Kauffman, J. B., & Brophy, L. (2024). All tidal wetlands are blue carbon ecosystems. *BioScience*, 74(4), 253–268. <https://doi.org/10.1093/biosci/biae007>
- Adelisardou, F., Zhao, W., Chow, R., Mederly, P., Minkina, T., & Schou, J. S. (2022). Spatiotemporal change detection of carbon storage and sequestration in an arid ecosystem by integrating Google Earth Engine and InVEST (the Jiroft plain, Iran). *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(7), 5929–5944. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03676-6>
- Alemu, M., Warkineh, B., Lulekal, E., & Asfaw, Z. (2024). Analysis of land use land cover change dynamics in Habru District, Amhara Region, Ethiopia. *Heliyon*, 10(19), e38971. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38971>
- Althoff, T. D., Menezes, R. S. C., Pinto, A. de S., Pareyn, F. G. C., Carvalho, A. L. de, Martins, J. C. R., de Carvalho, E. X., Silva, A. S. A. da, Dutra, E. D., & Sampaio, E. V. de S. B. (2018). Adaptation of the century model to simulate C and N dynamics of Caatinga dry forest before and after deforestation. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 254(November 2017), 26–34. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.016>
- Amini, S., Saber, M., Rabiei-Dastjerdi, H., & Homayouni, S. (2022). Urban Land Use and Land Cover Change Analysis Using Random Forest Classification of Landsat Time Series. *Remote Sensing*, 14(11), 1–23. <https://doi.org/10.3390/rs14112654>
- Andi, N. U., & Yunus, M. I. (2022). the Role and Steps of Climate Change Mitigation in Indonesia. *Jurnal Restorative Justice*, 6(2), 125–139. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common->
- Anggi, S., Arifuddin Sahidu, & Siti Nurjannah. (2023). *STUDI ALIH FUNGSI LAHAN PERTANIAN MENJADI KOMPLEK PERUMAHAN DI KELURAHAN GERUNG SELATAN KABUPATEN LOMBOK BARAT*. X(1), 1–16.
- Aulia, A. F., Sandhu, H., & Millington, A. C. (2020). Quantifying the economic value of ecosystem services in oil palm dominated landscapes in Riau Province in Sumatra, Indonesia. *Land*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/LAND9060194>
- Avtar, R., Komolafe, A. A., Kouser, A., Singh, D., Yunus, A. P., Dou, J., Kumar, P., Gupta, R. Das, Johnson, B. A., Thu Minh, H. V., Aggarwal, A. K., & Kurniawan, T. A. (2020). Assessing sustainable development prospects through remote sensing: A review. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 20(September), 100402. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100402>
- BAPPENAS. (2014). PEDOMAN TEKNIS PENGHITUNGAN BASELINE EMISI DAN SERAPAN GAS RUMAH KACA SEKTOR BERBASIS LAHAN. In *Badan Perencanaan Pembangunan Nasional*. www.bappenas.go.id
- Bhan, M., Gingrich, S., Matej, S., Fritz, S., & Erb, K. H. (2021). Land use increases the correlation between tree cover and biomass carbon stocks in the global tropics. *Land*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/land10111217>
- Bikila, N. G., Tessema, Z. K., & Abule, E. G. (2016). Carbon sequestration potentials of semi-arid rangelands under traditional management practices in Borana, Southern Ethiopia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 223, 108–114. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.02.028>
- Bordoloi, R., Das, B., Tripathi, O. P., Sahoo, U. K., Nath, A. J., Deb, S., Das, D. J., Gupta, A., Devi, N. B., Charturvedi, S. S., Tiwari, B. K., Paul, A., & Tajo, L.

- (2022). Satellite based integrated approaches to modelling spatial carbon stock and carbon sequestration potential of different land uses of Northeast India. *Environmental and Sustainability Indicators*, 13(April 2021), 100166. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2021.100166>
- BPS Indonesia. (2016). *STATISTIK INDONESIA 2016*.
- BPS Lombok Barat. (2025). *Kabupaten Lombok Barat Dalam Angka 2025*. 1–563.
- Briassoulis, H. (2019). *The Web Book of Regional Science Sponsored by Analysis of Land Use Change : Theoretical and Modeling*.
- Chaves, M. E. D., Picoli, M. C. A., & Sanches, I. D. (2020). Recent applications of Landsat 8/OLI and Sentinel-2/MSI for land use and land cover mapping: A systematic review. *Remote Sensing*, 12(18). <https://doi.org/10.3390/rs12183062>
- Csomós, G., Szalai, Á., & Farkas, J. Z. (2024). A sacrifice for the greater good? On the main drivers of excessive land take and land use change in Hungary. *Land Use Policy*, 147(December 2023), 0–2. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2024.107352>
- Deng, L., Wang, G. liang, Liu, G. bin, & Shangguan, Z. ping. (2016). Effects of age and land-use changes on soil carbon and nitrogen sequestrations following cropland abandonment on the Loess Plateau, China. *Ecological Engineering*, 90, 105–112. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.01.086>
- Ding, X., Zhou, C., Mauerhofer, V., Zhong, W., & Li, G. (2019). From environmental soundness to sustainable development: Improving applicability of payment for ecosystem services scheme for diverting regional sustainability transition in developing countries. *Sustainability (Switzerland)*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/su11020361>
- Dionizio, E. A., Pimenta, F. M., Lima, L. B., & Costa, M. H. (2020). Carbon stocks and dynamics of different land uses on the Cerrado agricultural frontier. *PLoS ONE*, 15(11 November), 1–22. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241637>
- Edmondson, J. L., Davies, Z. G., McHugh, N., Gaston, K. J., & Leake, J. R. (2012). Organic carbon hidden in urban ecosystems. *Scientific Reports*, 2, 1–7. <https://doi.org/10.1038/srep00963>
- Fernandes, M. M., Fernandes, M. R. de M., Garcia, J. R., Matricardi, E. A. T., de Almeida, A. Q., Pinto, A. S., Menezes, R. S. C., Silva, A. de J., & Lima, A. H. de S. (2020). Assessment of land use and land cover changes and valuation of carbon stocks in the Sergipe semiarid region, Brazil: 1992–2030. *Land Use Policy*, 99(October 2019), 104795. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104795>
- Fulan, D. W. (2021). *Cadangan Karbon Tanah Pada Berbagai Tipe Penggunaan Lahan* [Universitas Mataram]. <http://eprints.unram.ac.id/23746/>
- Gasser, T., Crepin, L., Quilcaille, Y., Houghton, R. A., Ciais, P., & Obersteiner, M. (2020). Historical CO₂ emissions from land use and land cover change and their uncertainty. *Biogeosciences*, 17(15), 4075–4101. <https://doi.org/10.5194/bg-17-4075-2020>
- Gautam, K., Kumar, N., Ram, A., Dev, I., Choudhury, B. U., Singh, N. R., Handa, A. K., Yadav, A., Anuragi, H., Uthappa, A. R., Kumar, D., Arunachalam, A., & Jinger, D. (2025). Root architecture and carbon sequestration potential of fast-growing agroforestry tree species in semi-arid Central India. *Frontiers in Agronomy*, 7(June). <https://doi.org/10.3389/fagro.2025.1597122>
- Gomes, E., Inácio, M., Bogdzevič, K., Kalinauskas, M., Karnauskaitė, D., & Pereira, P. (2021). Future land-use changes and its impacts on terrestrial ecosystem services: A review. *Science of the Total Environment*, 781. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146716>
- Grassi, G., Schwingshackl, C., Gasser, T., Houghton, R. A., Sitch, S., Canadell, J. G., Cescatti, A., Ciais, P., Federici, S., Friedlingstein, P., Kurz, W. A., Sanz Sanchez,

- M. J., Abad Viñas, R., Alkama, R., Bultan, S., Ceccherini, G., Falk, S., Kato, E., Kennedy, D., ... Pongratz, J. (2023). Harmonising the land-use flux estimates of global models and national inventories for 2000-2020. *Earth System Science Data*, 15(3), 1093–1114. <https://doi.org/10.5194/essd-15-1093-2023>
- Hamidov, A., Helming, K., & Balla, D. (2016). Impact of agricultural land use in Central Asia: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(1), 1–23. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0337-7>
- Hammad, H. M., Fasihuddin Nauman, H. M., Abbas, F., Ahmad, A., Bakhat, H. F., Saeed, S., Shah, G. M., Ahmad, A., & Cerdà, A. (2020). Carbon sequestration potential and soil characteristics of various land use systems in arid region. *Journal of Environmental Management*, 264(February). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110254>
- Harniyati, I. (2021). Pengaruh Alih Fungsi Lahan Pertanian Sawah Menjadi Non Pertanian Terhadap Ketahanan Pangan di Kecamatan Gamping, Mlati, Depok, dan Berbah Kabupaten Sleman. *STPN Repository*, 1–23. <http://repository.stpn.ac.id/1016/1/Irna Harniyati.pdf>
- Haruni, K., Rinaldi Imanuddin, Wahyu Catur Adinugroho, & Silver Hutabarat. (2015). *Inventarisasi Nasional Emisi dan Serapan Gas Rumah Kaca di Hutan dan Lahan Gambut Indonesia*file:///D:/3. PPLH/Project/2023/OGFICE/Jurnal Tesis Pungki/lingga,+Chapter+2+from+Indonesia+Post+Pandemic+Outlook+Energy+FINAL-2.pdf. http://incas.menlhk.go.id/wp-content/uploads/2016/04/INCAS-NationalInventory_id_web.pdf
- Hasan, S. S., Zhen, L., Miah, M. G., Ahamed, T., & Samie, A. (2020). Impact of land use change on ecosystem services: A review. *Environmental Development*, 34(April 2019), 100527. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100527>
- He, M., Zhang, K., Guan, Y., Sun, Y., & Han, B. (2023). Green carbon science: Fundamental aspects. *National Science Review*, 10(9). <https://doi.org/10.1093/nsr/nwad046>
- Hendrawan, F. J. T., & Dewi, R. M. (2016). Analisis Dampak Alih Fungsi Lahan Pertanian Menjadi Kawasan Perumahan Terhadap Pendapatan Petani Dusun Puncel Desa Deket Wetan Lamongan. *Jurnal Pendidikan Ekonomi (JUPE)*, 4(3), 1–10.
- Hertel, T. W., West, T. A. P., Börner, J., & Villoria, N. B. (2019). A review of global-local-global linkages in economic land-use/cover change models. *Environmental Research Letters*, 14(5). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab0d33>
- Hilmi, N., Chami, R., Sutherland, M. D., Hall-Spencer, J. M., Lebleu, L., Benitez, M. B., & Levin, L. A. (2021). The Role of Blue Carbon in Climate Change Mitigation and Carbon Stock Conservation. *Frontiers in Climate*, 3(September). <https://doi.org/10.3389/fclim.2021.710546>
- Houghton, R. A., & Castanho, A. (2023). Annual emissions of carbon from land use, land-use change, and forestry from 1850 to 2020. *Earth System Science Data*, 15(5), 2025–2054. <https://doi.org/10.5194/essd-15-2025-2023>
- Huang, X., Ibrahim, M. M., Luo, Y., Jiang, L., Chen, J., & Hou, E. (2024). Land Use Change Alters Soil Organic Carbon: Constrained Global Patterns and Predictors. *Earth's Future*, 12(5). <https://doi.org/10.1029/2023EF004254>
- Iemaaniah, Z. M. (2023). *Identifikasi Penggunaan Lahan Menggunakan Citra Resolusi Tinggi di Titik Nol Kawasan Ekonomi Khusus Mandalika*. <http://dx.doi.org/10.21067/jpig.v8i2.8984>
- Indriyani, L., Bana, S., Yasin, A., Sudia, L. B., Kahirun, Midi, L. O., & Hardin. (2020). The Potential of Blue Carbon Stocks and Carbon Dioxide Absorption in Mangrove Forests to Support Low Carbon Emission Development in Southeast Sulawesi Province, Indonesia. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 10(6), 2526–2535.

<https://doi.org/10.18517/ijaseit.10.6.13332>

- IPCC. (2006). Consistent Representation of Lands. In *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.
- Ismail, D. E. (2019). Hukum Tata Ruang: Rekonstruksi Menuju Pemukiman Indonesia Bebas Kumuh. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. (Issue Mi). UII Press.
- Jiaping, Z., Cao, P., & Roosll, R. (2025). Assessing land use and carbon storage changes using PLUS and InVEST models: A multi-scenario simulation in Hohhot. *Environmental and Sustainability Indicators*, 26(February). <https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.100655>
- Jong, L. de, De Bruin, S., Knoop, J., & van Vliet, J. (2021). Understanding land-use change conflict: a systematic review of case studies. *Journal of Land Use Science*, 16(3), 223–239. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2021.1933226>
- Joshi, R., Sharma, B., Singh, H., Dhakal, N., Ayer, S., & Maraseni, T. (2024). Poplar Plantation as an Agroforestry Approach: Economic Benefits and Its Role in Carbon Sequestration in North India. *Journal of Resources and Ecology*, 15(4), 880–888. <https://doi.org/10.5814/j.issn.1674-764x.2024.04.009>
- Kaiser, J., Haase, D., & Krueger, T. (2021). Payments for ecosystem services: A review of definitions, the role of spatial scales, and critique. *Ecology and Society*, 26(2). <https://doi.org/10.5751/ES-12307-260212>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2022). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 21 Tahun 2022 tentang Tata Laksana Penerapan Nilai Ekonomi Karbon. In *Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia* (Vol. 7, Issue 2).
- Kurniawati, F. U. (2021). Dampak Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Besaran Stok Karbon di Kota Surabaya. *Jurnal Penataan Ruang*, 16(1), 54–58.
- Lai, L., Huang, X., Yang, H., Chuai, X., Zhang, M., Zhong, T., Chen, Z., Chen, Y., Wang, X., & Thompson, J. R. (2016). Carbon emissions from land-use change and management in China between 1990 and 2010. *Science Advances*, 2(11). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1601063>
- Lambin, E. F., & Meyfroidt, P. (2011). Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(9), 3465–3472. <https://doi.org/10.1073/pnas.1100480108>
- Latue, T., & Latue, P. C. (2023). Analysis of Land Use Change on Environmental Degradation: A Literature Review in Urban Areas. *Jurnal Riset Multidisiplin Dan Inovasi Teknologi*, 2(01), 1–11. <https://doi.org/10.59653/jimat.v2i01.276>
- Le, T. N., Nguyen, D. D., & Nguyen, D. T. (2024). Land cover change assessment in Thai Nguyen Province, Vietnam using GIS and remote sensing techniques. *Research on Crops*, 25(2), 280–285. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2024.ROC-1077>
- Li, B., Li, P., Yang, X. M., Xiao, H. B., Xu, M. X., & Liu, G. Bin. (2021). Land-use conversion changes deep soil organic carbon stock in the Chinese Loess Plateau. *Land Degradation and Development*, 32(1), 505–517. <https://doi.org/10.1002/ldr.3644>
- Li, L., Awada, T., Zhang, Y., & Paustian, K. (2024). Global Land Use Change and Its Impact on Greenhouse Gas Emissions. *Global Change Biology*, 30(12), 1–9. <https://doi.org/10.1111/gcb.17604>
- Li, Y., & Luo, H. F. (2024). Spatio-temporal Evolution and Multi-scenario Simulation of Carbon Storage in Karst Regions of Central Guizhou Province : Taking Puding County as An Example. *Huanjing Kexue/Environmental Science*, 45(2), 961–973.

<https://doi.org/10.13227/j.hjcx.202302238>

- Liang, Y., Hashimoto, S., & Liu, L. (2021). Integrated assessment of land-use/land-cover dynamics on carbon storage services in the Loess Plateau of China from 1995 to 2050. *Ecological Indicators*, *120*, 106939. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106939>
- Liu, C., Jia, X., Ren, L., Zhao, C., Yao, Y., Zhang, Y., & Shao, M. (2023). Cropland-to-shrubland conversion reduces soil water storage and contributes little to soil carbon sequestration in a dryland area. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *354*. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108572>
- Liu, H., Rezanezhad, F., & Lennartz, B. (2022). Impact of land management on available water capacity and water storage of peatlands. *Geoderma*, *406*. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115521>
- Liu, L., Qu, J., Gao, F., Maraseni, T. N., Wang, S., Aryal, S., Zhang, Z., & Wu, R. (2024). Land Use Carbon Emissions or Sink: Research Characteristics, Hotspots and Future Perspectives. *Land*, *13*(3), 1–24. <https://doi.org/10.3390/land13030279>
- Lu, D., Mausel, P., Brondízio, E., & Moran, E. (2004). Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, *25*(12), 2365–2401. <https://doi.org/10.1080/0143116031000139863>
- Ly, N. T. H., Phuong, N. T., Anh, L. N. T., Nguyet, D. A., & Nguyen, H. (2022). Effect of Agricultural Land-Use Patterns on Soil Organic Carbon Stock in the Upper Vietnamese Mekong Delta. *Polish Journal of Environmental Studies*, *31*(6), 5793–5804. <https://doi.org/10.15244/pjoes/152029>
- Lyu, M., Zhou, Y., Wei, Y., Li, J., & Wu, S. (2023). The Impact of Land Use Changes on Carbon Flux in the World's 100 Largest Cities. *Sustainability (Switzerland)*, *15*(16). <https://doi.org/10.3390/su151612497>
- Malik, A. D., Arief, M. C. W., Withaningsih, S., & Parikesit, P. (2024). Modeling regional aboveground carbon stock dynamics affected by land use and land cover changes. *Global Journal of Environmental Science and Management*, *10*(1), 245–266. <https://doi.org/10.22034/gjesm.2024.01.16>
- Meena, R. S., Kumar, S., & Yadav, G. S. (2019). Soil carbon sequestration in crop production. *Nutrient Dynamics for Sustainable Crop Production*, 1–39. https://doi.org/10.1007/978-981-13-8660-2_1
- Mikhailova, E. A., Zurqani, H. A., Lin, L., Hao, Z., Post, C. J., Schlautman, M. A., Post, G. C., Brown, C. E., & Shepherd, G. B. (2025). Monitoring Wise Use of Wetlands During Land Conversion for the Ramsar Convention on Wetlands: A Case Study of the Contiguous United States of America (USA). *Biosphere*, *1*(1), 2. <https://doi.org/10.3390/biosphere1010002>
- Milawati, S. (2019). Analisis Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Alih Fungsi Lahan Pertanian Ke Non Pertanian Di Kabupaten Tangerang. *Digilib Uns*, *7*(3), 9–25.
- Mishra, G., Giri, K., Jangir, A., & Francaviglia, R. (2020). Projected trends of soil organic carbon stocks in Meghalaya state of Northeast Himalayas, India. Implications for a policy perspective. *Science of the Total Environment*, *698*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134266>
- Muhammad, F. R., Pratiwi, R. A., & Hutriani, I. W. (2024). Perencanaan Ruang Terbuka Hijau Berbasis Ekologi dan Sosial di Kampung 3-4 Ulu Laut, Kota Palembang. *Desa-Kota*, *6*(2), 112. <https://doi.org/10.20961/desa-kota.v6i2.79059.112-126>
- Nabikandi, V. B., Shahbazi, F., Hami, A., & Malone, B. (2024). Exploring carbon storage and sequestration as affected by land use/land cover changes toward achieving sustainable development goals. *Soil Advances*, *2*(June), 100017. <https://doi.org/10.1016/j.soilad.2024.100017>

- Nathanael, C., & Taryana, D. (2025). *Evaluasi Kesesuaian Penggunaan Lahan Terhadap Rencana Detail Tata Ruang 2022 di Kecamatan Pulo Gadung*. 8(May), 159–175.
- Nave, L. E., DeLyser, K., Domke, G. M., Holub, S. M., Janowiak, M. K., Keller, A. B., Peters, M. P., Solarik, K. A., Walters, B. F., & Swanston, C. W. (2024). Land use change and forest management effects on soil carbon stocks in the Northeast U.S. *Carbon Balance and Management*, 19(1), 1–19. <https://doi.org/10.1186/s13021-024-00251-7>
- Nila, N., Cholidah, Z., & Irawan, L. Y. (2024). Pemanfaatan Penginderaan Jauh Untuk Pemetaan Alih Fungsi Lahan Sawah di Kabupaten Nganjuk. *Jurnal Geosains Dan Remote Sensing*, 5(1), 43–54. <https://doi.org/10.23960/jgrs.ft.unila.203>
- Noviantoro, K. M., Widjaja, H. R., & Ridwan, M. (2022). Penataan Ruang Wilayah Pesisir sebagai Upaya Mitigasi Bencana Tsunami di Pantai Watu Pecak, Kabupaten Lumajang. *Jurnal Wilayah Dan Lingkungan*, 10(3), 236–245. <https://doi.org/10.14710/jwl.10.3.236-245>
- Nunez, S., Verboom, J., & Alkemade, R. (2020). Assessing land-based mitigation implications for biodiversity. *Environmental Science and Policy*, 106(August 2019), 68–76. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.01.006>
- Nurrahma, A. F., Darsono, D., & Barokah, U. (2024). Analisis Faktor- Faktor Yang Memengaruhi Alih Fungsi Lahan Sawah Ke Non Sawah Di Kabupaten Klaten. *Jurnal Ekonomi Pertanian Dan Agribisnis*, 8(1), 192. <https://doi.org/10.21776/ub.jepa.2024.008.01.15>
- Odebiri, O., Mutanga, O., Odindi, J., Slotow, R., Mafongoya, P., Lottering, R., Naicker, R., Matongera, T. N., & Mngadi, M. (2024). Mapping sub-surface distribution of soil organic carbon stocks in South Africa's arid and semi-arid landscapes: Implications for land management and climate change mitigation. *Geoderma Regional*, 37(November 2023), e00817. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2024.e00817>
- Ota, H. O., Mohan, K. C., Udume, B. U., Olim, D. M., & Okolo, C. C. (2024). Assessment of land use management and its effect on soil quality and carbon stock in Ebonyi State, Southeast Nigeria. *Journal of Environmental Management*, 358(April), 120889. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120889>
- Otoritas Jasa Keuangan. (2023). Peraturan Otoritas Jasa Keuangan Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2023 tentang Perdagangan Karbon Melalui Bursa Karbon. In *Otoritas Jasa Keuangan*.
- Paltineanu, C., Dumitru, S., Vizitiu, O., Mocanu, V., Lăcătușu, A. R., Ion, S., & Domnariu, H. (2024). Soil organic carbon and total nitrogen stocks related to land use and basic environmental properties – assessment of soil carbon sequestration potential in different ecosystems. *Catena*, 246(October). <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108435>
- Pemerintah Kabupaten Lombok Barat. (2011). *Peraturan Daerah Kabupaten Lombok Barat Nomor 11 Tahun 2011 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Lombok Barat Tahun 2011-2031*.
- Pemerintah Provinsi Nusa Tenggara Barat. (2024). Peraturan Daerah Provinsi Nusa Tenggara Barat Nomor 5 Tahun 2024 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Provinsi NTB Tahun 2024-2044. In *Pemerintah Provinsi Nusa Tenggara Barat*.
- Pham, K. T., & Lin, T. H. (2023). Effects of urbanisation on ecosystem service values: A case study of Nha Trang, Vietnam. *Land Use Policy*, 128(March 2022), 106599. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106599>
- Ponce, A. P., Corona-Núñez, R., Kraxner, F., Leduc, S., & Patrizio, P. (2018). Identifying effects of land use cover changes and climate change on terrestrial ecosystems and carbon stocks in Mexico. *Global Environmental Change*, 53(June), 12–23. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.08.004>

- Pratomo, R. A., & Wijayanti, E. S. (2023). Strategi Pengendalian Alih Fungsi Lahan Pertanian Tanaman Pangan di Kabupaten Kutai Kartanegara. *Jurnal Pembangunan Wilayah Dan Kota*, 19(3), 390–408. <https://doi.org/10.14710/pwk.v19i3.44533>
- Rabach, V. O., Koske, J., Muna, M. M., Muriuki, J., & Ngare, I. O. (2020). Carbon Sequestration in Agroforestry Systems between Conservation Agriculture and Conventional Practice in The Asal Area of Machakos County, Kenya. *Journal of Applied Agricultural Science and Technology*, 4(2), 118–133. <https://doi.org/10.32530/jaast.v4i2.170>
- Raihan, A. (2024). Review: The potential of agroforestry in South Asian countries towards achieving the climate goals. *Asian Journal of Forestry*, 8(1), 1–17. <https://doi.org/10.13057/asianjfor/r080101>
- Ramadhani, W., Mustakim, M., & Muis, A. (2023). Analisis Ketersediaan Lahan Terbuka Hijau Bagi Pertumbuhan Penduduk Di Kecamatan Tempe Kab.Wajo Menggunakan Aplikasi Sistem Informasi Geografis (Sig). *Jurnal Karajata Engineering*, 3(1), 64–71. <https://doi.org/10.31850/karajata.v3i1.2066>
- Regasa, M. S. R. M. N. and D. (2021). Ethiopian Basins. *Land*, 10(585), 1–18.
- Rizaldi, B. M. (2021). *Analisis Perubahan Stok Karbon Berdasarkan Perubahan Tutupan Lahan di Provinsi Jambi*. http://digilib.uinsa.ac.id/49919/3/BillyanMochammadRizaldi_H04217004.pdf
- Rizky, E., Alathas, A., Sasongko, S. M. Al, Zubaidah, T., Mataram, U., Elektro, J. T., Mataram, U., & Terara, K. (2021). *Analisis Perubahan Tutupan Lahan Di Kabupaten Lombok Timur Menggunakan Citra Landsat 8. 2*. <https://eprints.unram.ac.id/42656/2/JurnalEkaRizkyAdhansyahAlathas%28F1B018017%29.pdf>
- Robinson, D. T., Zhang, J., MacDonald, D., & Samson, C. (2023). Estimating Settlement carbon stock and density using an inventory approach and quantifying their variation by land use and parcel size. *Urban Forestry and Urban Greening*, 82(May 2022), 127878. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.127878>
- Rohmayadi, R., Mentari, N., & ... (2020). Preferensi Pemilihan Perumahan Di Kecamatan Labuapi, Kabupaten Lombok Barat. *Jurnal ...*, 6–12. <https://www.sangkareang.org/index.php/SANGKAREANG/article/view/24>
- Rose, D. C., Sutherland, W. J., Barnes, A. P., Borthwick, F., Ffoulkes, C., Hall, C., Moorby, J. M., Nicholas-Davies, P., Twining, S., & Dicks, L. V. (2019). Integrated farm management for sustainable agriculture: Lessons for knowledge exchange and policy. *Land Use Policy*, 81, 834–842. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.11.001>
- Rytter, R. M., & Rytter, L. (2020). Carbon sequestration at land use conversion – Early changes in total carbon stocks for six tree species grown on former agricultural land. *Forest Ecology and Management*, 466(December 2019), 118129. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118129>
- Saharjo, B. H., & Novita, N. (2022). Potensi Tinggi Pengelolaan Kebakaran Lahan Gambut untuk Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca di Indonesia. *Journal of Tropical Silviculture*, 13(01), 53–65. <https://doi.org/10.29244/j-siltrop.13.01.53-65>
- Sakirin, M. (2020). *ANALISIS PELAKSANAAN ALIH FUNGSI LAHAN PERTANIAN MENJADI PERUMAHAN (Studi di Kecamatan Labuapi)*.
- Sanderman, J., Hengl, T., & Fiske, G. J. (2017). Soil carbon debt of 12,000 years of human land use. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(36), 9575–9580. <https://doi.org/10.1073/pnas.1706103114>
- Sarastika, T., Yusuf Susena, & Dwi Kurniawan. (2023). Prediksi Konversi Lahan Pertanian Berbasis Artificial Neural Network-Cellular Automata (Ann-Ca) Di

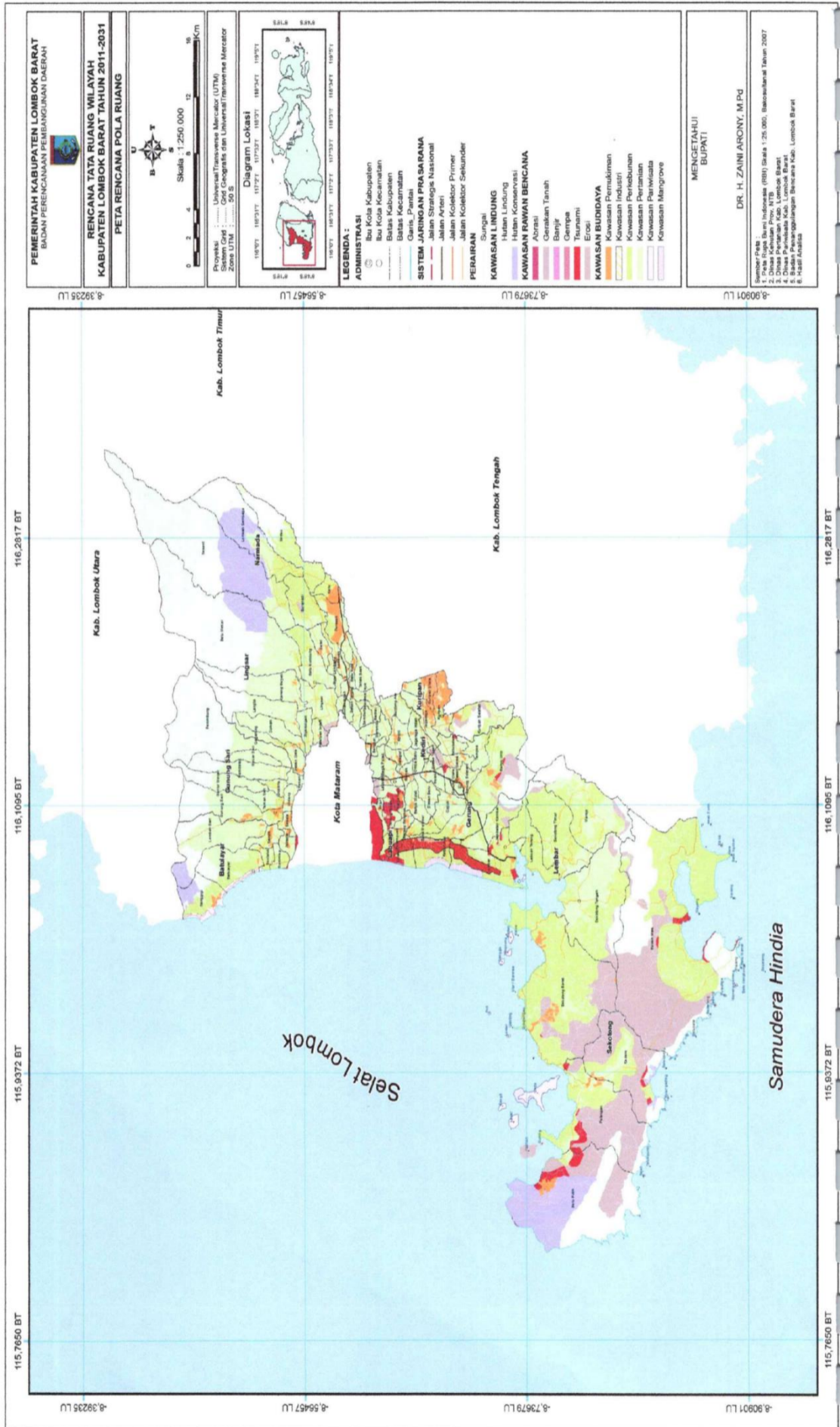
- Kawasan Sleman Barat. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 10(2), 471–482. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2023.010.2.30>
- Sasmito, S. D., Taillardat, P., Fong, L. S., Ren, J. W. F., Sundahl, H., Wijedasa, L., Bandla, A., Arifin-Wong, N., Sudarshan, A. S., Tarigan, S., Taufik, M., Ramchunder, S. J., Lupascu, M., & Taylor, D. (2021). Terrestrial and aquatic carbon dynamics in tropical peatlands under different land use types: A systematic review protocol. *Forests*, 12(10), 1–10. <https://doi.org/10.3390/f12101298>
- Selvia, S. I., Taufiqurrahman, T., & Kurnia, M. I. (2023). Perbandingan Stok Karbon Berbasis Penggunaan Lahan dan Rencana Pola Ruang pada Wilayah Perencanaan III Kota Singkawang. *Jurnal Sains Teknologi & Lingkungan*, 9(2), 238–247. <https://doi.org/10.29303/jstl.v9i2.417>
- Setiawan, G., Syaufina Lailan, & Puspaningsih Nining. (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>
- Setyaningrum, W., & Amudi, A. (2023). Kontribusi Ruang Terbuka Hijau Publik di Kecamatan Jombang dalam Mereduksi Limpasan Air. *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*, 5(1), 21–28. <https://doi.org/10.26740/proteksi.v5n1.p21-28>
- Shibabaw, T., Rappe George, M. O., & Gärdenäs, A. I. (2023). The combined impacts of land use change and climate change on soil organic carbon stocks in the Ethiopian highlands. *Geoderma Regional*, 32(January). <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2023.e00613>
- Shiraishi, T., Hirata, R., Hayashi, M., & Hirano, T. (2023). Carbon dioxide emissions through land use change, fire, and oxidative peat decomposition in Borneo. *Scientific Reports*, 13(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-40333-z>
- Siarudin, M., Rahman, S. A., Artati, Y., Indrajaya, Y., Narulita, S., Ardha, M. J., & Larjavaara, M. (2021). *Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems in Degraded Landscapes in West Java, Indonesia*. 1–13.
- Siska, W., Widiatmaka, W., Setiawan, Y., & Adi, S. H. (2022). Pemetaan Perubahan Lahan Sawah Kabupaten Sukabumi Menggunakan Google Earth Engine. *Tataloka*, 24(1), 74–83. <https://doi.org/10.14710/tataloka.24.1.74-83>
- Sitorus, R. . S. (2017). Perencanaan Penggunaan Lahan. In *IPB Press* (Issue Bogor, Indonesia).
- Smit, I. P. J., Maze, K., & van Wilgen, B. W. (2024). Land cover change in and around South African protected areas. *Biological Conservation*, 300(October), 110844. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2024.110844>
- Solomon, N., Pabi, O., Annang, T., Asante, I. K., & Birhane, E. (2018). The effects of land cover change on carbon stock dynamics in a dry Afromontane forest in northern Ethiopia. *Carbon Balance and Management*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/s13021-018-0103-7>
- Sudipa, N., Mahendra, M. S., Adnyana, W. S., & Pujaastawa, I. B. (2020). Land Use Change in the Nusa Penida Tourism Area. *Jurnal Sains Teknologi & Lingkungan*, 6(2), 182–191.
- Sumarga, E. (2015). *Spatial Modelling and Ecosystem Accounting for Land Use Planning : Addressing Deforestation and Oil Palm Expansion in*.
- Susanti, F., Ridha, R., & Widayanti, B. H. (2023). Analisis Kesesuaian Lahan Pertanian dengan Program Lahan Sawah Dilindungi di Kabupaten Lombok Barat. *Jurnal Humanitas: Katalisator Perubahan Dan Inovator Pendidikan*, 10(1), 118–128. <https://doi.org/10.29408/jhm.v10i1.24407>
- Susiani, D. (2020). *Hukum Tata Ruang* (Vol. 44, Issue 8). CV. Pustaka Abadi. <https://doi.org/10.1088/1751-8113/44/8/085201>

- Tang, M., & Hu, F. (2023). Land urbanization and urban CO₂ emissions: Empirical evidence from Chinese prefecture-level cities. *Heliyon*, 9(9), e19834. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19834>
- Tian, S., Wang, S., Bai, X., Luo, G., Li, Q., Yang, Y., Hu, Z., Li, C., & Deng, Y. (2021). Global patterns and changes of carbon emissions from land use during 1992–2015. *Environmental Science and Ecotechnology*, 7, 100108. <https://doi.org/10.1016/j.es.2021.100108>
- Valjavec, B. M., Čarni, A., Žlindra, D., Zorn, M., & Marinšek, A. (2022). Soil organic carbon stock capacity in karst dolines under different land uses. *Catena*, 218(August 2021). <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106548>
- Wang, L. (2024). Assessment of land use change and carbon emission: A Log Mean Divisa (LMDI) approach. *Heliyon*, 10(3), e25669. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25669>
- Wen, J., Chuai, X., Zuo, T., Huifen Cai, H., Cai, L., Zhao, R., & Chen, Y. (2023). Land use change on the surface area and the influence on carbon. *Ecological Indicators*, 153(February), 110400. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110400>
- Widiatmika, K. P. (2015). Land Sector and Removals Guidance Part 2: Calculation Guidance. *Etika Jurnalisme Pada Koran Kuning : Sebuah Studi Mengenai Koran Lampu Hijau*, 16(2), 39–55.
- Widyaningrum, E., Perdana, A. P., Andari, R., Mayasari, R., & Damayanti, A. P. (2021). Penggunaan Citra Satelit Sentinel-2 Dan Spot 6-7 Dengan Kompilasi Data Keruangan Untuk Pemutakhiran Peta Dasar. *Elipsoida*, 04(02), 100–108.
- Winkler, K., Fuchs, R., Rounsevell, M., & Herold, M. (2021). Global land use changes are four times greater than previously estimated. *Nature Communications*, 12(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22702-2>
- Wiryo, Muktamar, Z., Deselina, Nurliana, S., Aningtias, H., & Anugrah, P. M. (2021). Soil Organic Carbon in Forest and Other Land Use Types at Bengkulu City, Indonesia. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 27(3), 184–192. <https://doi.org/10.7226/jtfm.27.3.184>
- Xiong, X., Grunwald, S., Myers, D. B., Ross, C. W., Harris, W. G., & Comerford, N. B. (2014). Interaction effects of climate and land use/land cover change on soil organic carbon sequestration. *Science of the Total Environment*, 493, 974–982. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.088>
- Yang, Y., Zhang, H., Zhao, X., Chen, Z., Wang, A., Zhao, E., & Cao, H. (2021). Effects of Urbanization on Ecosystem Services in the Shandong Peninsula Urban Agglomeration, in China: The Case of Weifang City. *Urban Science*, 5(3). <https://doi.org/10.3390/urbansci5030054>
- Ye, C., & Ming, T. (2023). Land use carbon emissions estimation and carbon emissions control strategy effect scenario simulation in Zhejiang province. *Heliyon*, 9(11), e20783. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20783>
- Yolanda, Y., Tanggasari, D., & Desiasni, R. (2022). Pemberdayaan Masyarakat dalam Green Wall Training di Kawasan Permukiman Samota, upaya Pengurangan Emisi GRK. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, 5(4), 291–296. <https://doi.org/10.29303/jpmpi.v5i4.2461>
- Yuan, D., Zhang, L., Fan, Y., & Yang, R. (2024). Investigating spatio-temporal variations and contributing factors of land use-related carbon emissions in the Beijing-Tianjin-Hebei Region, China. *Scientific Reports*, 14(1), 1–17. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-69573-3>
- Zaky, A., & Maryunani. (2023). Analisis Dampak Alih Fungsi Lahan Pertanian Ke Non Pertanian Terhadap Kesejahteraan Petani Pemilik Lahan Di Kelurahan Turen Kecamatan Turen. *Journal Of Development Economic And Social Studies*, 2(Universitas Brawijaya), 292–298.

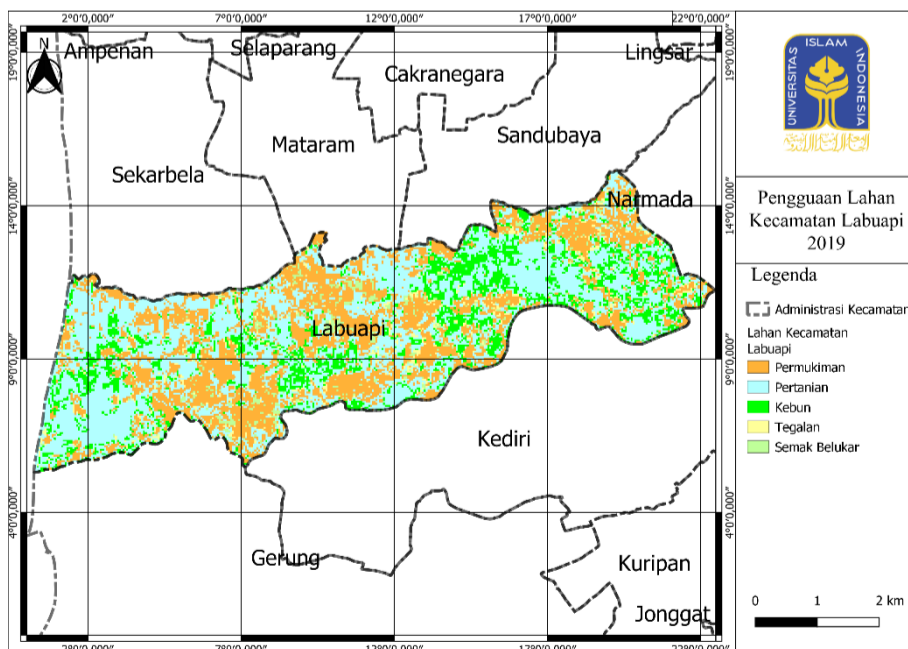
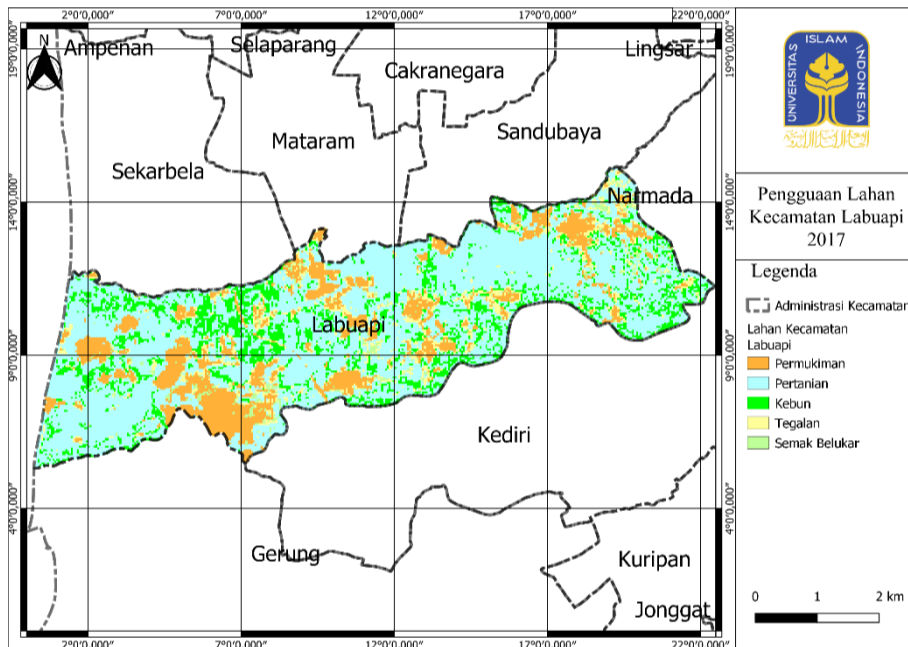
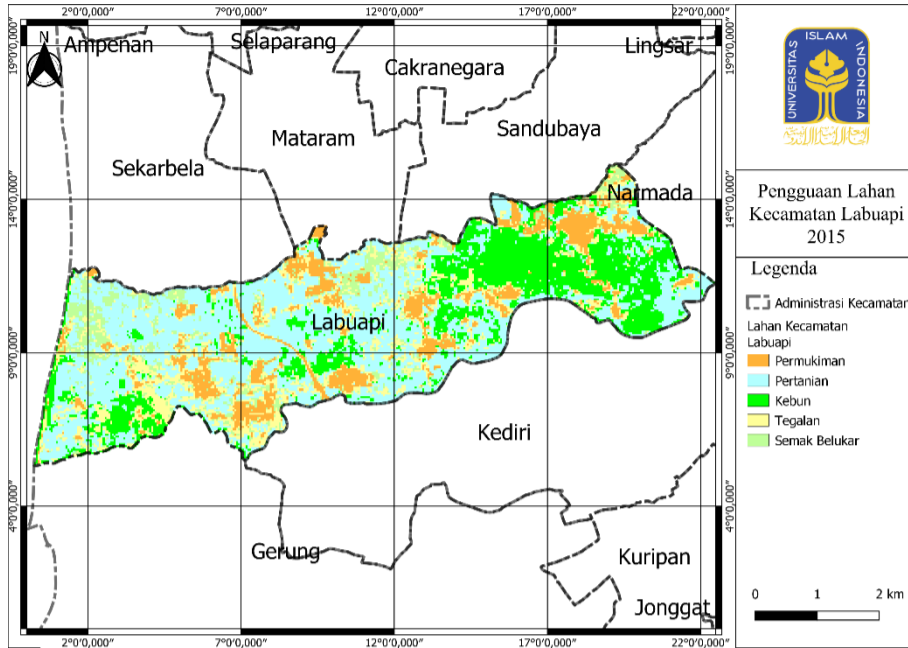
- Zhang, F., Xu, N., Wang, C., Wu, F., & Chu, X. (2020). Effects of land use and land cover change on carbon sequestration and adaptive management in Shanghai, China. *Physics and Chemistry of the Earth*, 120, 102948. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2020.102948>
- Zhang, R., Ying, J., & Zhang, Y. (2023). Study on the spatial spillover effect of land use type change on carbon emissions. *Scientific Reports*, 13(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-39383-0>
- Zhen, Y., Zhang, X., Zhang, C., Gao, Q., Dong, J., Zhang, L., Lu, X., & Wang, Y. (2023). Effects of climate change and land use/cover changes on carbon sequestration in forest ecosystems in the coastal area of China. *Frontiers in Forests and Global Change*, 6(October). <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1271239>
- Zheng, H., & Zheng, H. (2023). Assessment and prediction of carbon storage based on land use/land cover dynamics in the coastal area of Shandong Province. *Ecological Indicators*, 153(June), 110474. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110474>
- Zhi, Q., Yuying, J., Tong, H., Yingshuang, L., Xinliang, X., & Jun, Y. (2022). Land use change simulation: progress, challenges, and prospects. *Shengtai Xuebao*, 45(13), 5165–5176. <https://doi.org/10.5846/stxb202106201639>
- Zhou, Y., Chen, M., Tang, Z., & Mei, Z. (2021). Urbanization, land use change, and carbon emissions: Quantitative assessments for city-level carbon emissions in Beijing-Tianjin-Hebei region. *Sustainable Cities and Society*, 66(July 2020), 102701. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102701>
- Zhou, Y., Li, X., & Liu, Y. (2020). Land use change and driving factors in rural China during the period 1995-2015. *Land Use Policy*, 99(December 2019), 105048. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105048>
- Zhu, N., Yan, Y., Bai, K., Zhang, J., Wang, C., Wang, X., Xu, D., Liu, J., Xin, X., & Chen, J. (2023). Conversion of croplands to shrublands does not improve soil organic carbon and nitrogen but reduces soil phosphorus in a temperate grassland of northern China. *Geoderma*, 432. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116407>
- Zhu, Qiu, D., Zhang, Z., Sang, L., Liu, Y., Wang, L., Zhao, K., Ma, H., Xu, Y., & Wan, Q. (2021). Land-use changes lead to a decrease in carbon storage in arid region, China. *Ecological Indicators*, 127(May), 107770. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107770>

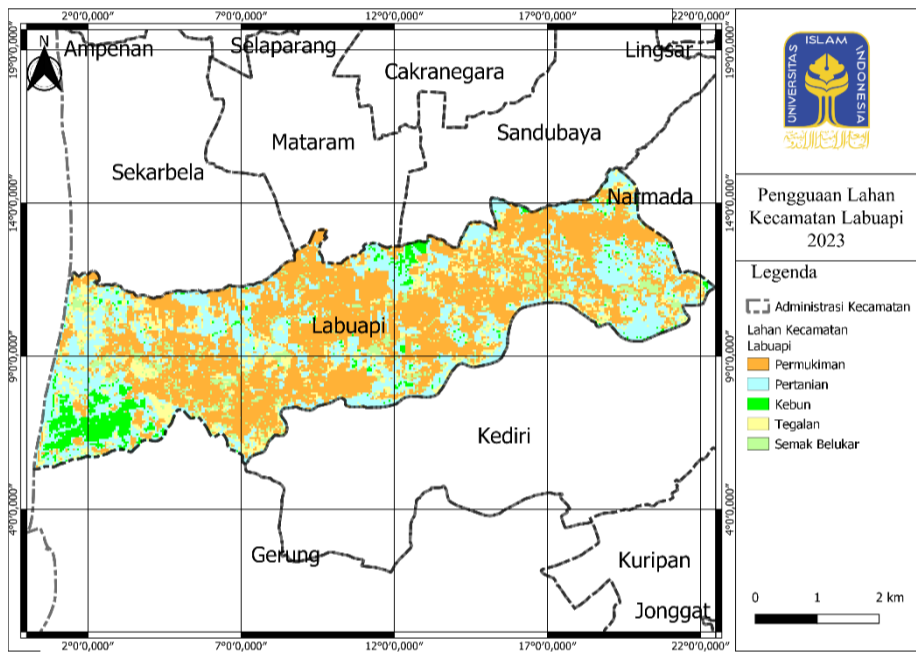
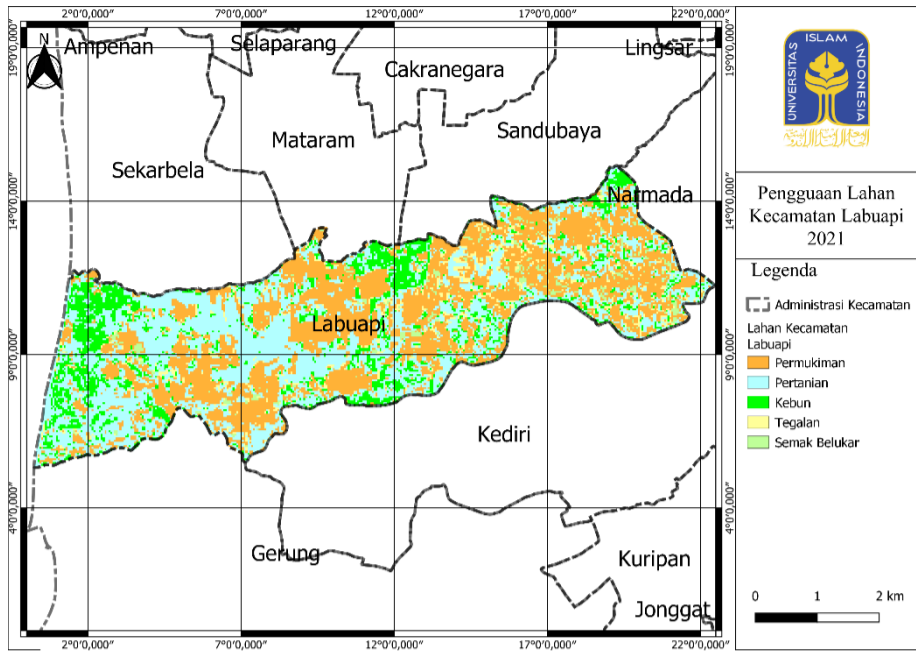
LAMPIRAN

Peta RTRW Kabupaten Lombok Barat



Peta Analisis Penggunaan Lahan





Peta Analisis Overlay

