

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mangrove merupakan salah satu ekosistem pesisir yang memiliki fungsi ekologi dan klimatologi yang sangat penting di tingkat global. Ekosistem ini tidak hanya berperan dalam mendukung ketahanan iklim melalui penyerapan karbon, namun juga memberikan perlindungan alami terhadap wilayah pesisir dari gangguan hidrometeorologis ekstrem dan abrasi, meningkatkan ketahanan sosial-ekologis komunitas pesisir dalam jangka panjang, serta menyediakan habitat bagi berbagai spesies biota pesisir (Barbier, 2016; Guannel et al., 2016)

Meskipun hanya mencakup sebagian kecil dari total luasan hutan tropis dunia, mangrove secara signifikan berkontribusi pada *Net ecosystem production* (NEP) dan penyerapan karbon pesisir global (Alongi & Mukhopadhyay, 2015; Nyanga, 2020). Secara global, NEP ekosistem mangrove diperkirakan mencapai 109,1 Tg C per tahun (Adame et al., 2024), sementara total simpanan karbon mangrove diperkirakan sebesar 11,7 Pg, dengan sebagian besar tersimpan dalam sedimen bawah permukaan (Rovai et al., 2018).

Sebagai bagian dari ekosistem “*blue carbon*” yang dikenal sebagai penyerap karbon yang sangat efisien, mangrove berperan penting dalam mitigasi perubahan iklim, baik melalui akumulasi biomassa maupun melalui proses penguburan karbon dalam lapisan sedimen (Kauffman & Bhomia, 2017; Xiong et al., 2018). Namun demikian, ekosistem mangrove menghadapi tekanan yang semakin intensif akibat aktivitas antropogenik, seperti konversi lahan menjadi lahan pertanian, tambak budidaya, dan pemukiman, serta tekanan alami seperti kenaikan muka air laut dan penurunan muka tanah (Hamilton & Casey, 2016; Cameron et al., 2019a; Malik et al., 2015). Tekanan-tekanan ini telah menyebabkan penurunan luas mangrove secara global, dengan estimasi kehilangan sekitar 3,4% pada rentang tahun 1996 – 2020. Penurunan tersebut berdampak signifikan terhadap penurunan jasa

ekosistem, seperti keanekaragaman hayati, perlindungan pesisir, dan kemampuan penyerapan karbon (Bunting et al., 2022). Sebagai negara dengan luasan mangrove terbesar di dunia, Indonesia telah menyumbang emisi gas rumah kaca (GRK) dalam jumlah besar akibat konversi ekosistem mangrove, dengan estimasi mencapai 182,6 juta ton CO₂ selama periode 2009–2019 (Arifanti et al., 2021).

Dalam konteks ini, restorasi mangrove menjadi pendekatan strategis yang menjanjikan untuk memulihkan fungsi ekologis dan klimatologis ekosistem tersebut. Berbagai studi menunjukkan bahwa kawasan mangrove yang direstorasi memiliki potensi besar untuk memulihkan cadangan karbon melalui pertumbuhan vegetasi dan akumulasi karbon dalam sedimen (Alongi, 2014). Namun, efektivitas restorasi dalam mengembalikan fungsi penyerapan karbon bergantung pada interaksi kompleks antara beberapa faktor, seperti umur tegakan dan karakteristik hidrogeomorfologinya. Meskipun sejumlah studi lokal telah dilakukan (Arifanti et al., 2019; Kusumaningtyas et al., 2019; Cameron et al., 2019b; Sasmito et al., 2020; Soeprbowati et al., 2024; Rahim et al., 2024), kajian yang berskala nasional dengan cakupan kondisi ekologis dan hidrogeomorfologi yang beragam masih terbatas.

Indonesia sebagai negara kepulauan dengan keragaman ekologi, iklim, dan hidrogeomorfologi yang tinggi membutuhkan pendekatan konservasi dan restorasi yang kontekstual dan berbasis data spasial-ekologis. Oleh karena itu, pemahaman yang komprehensif mengenai hubungan antara umur tegakan vegetasi, karakteristik hidrogeomorfologi dengan potensi stok karbon sangat diperlukan guna mengoptimalkan strategi pengelolaan berbasis ekosistem. Selain itu, aspek kerentanan (*vulnerability*) ekosistem mangrove terhadap perubahan lingkungan dan tekanan antropogenik juga perlu dikaji secara mendalam. Penilaian kerentanan mencakup tiga komponen utama, yaitu eksposur (misalnya pasang surut dan laju sedimentasi), sensitivitas (misalnya perubahan luas area mangrove dan kelimpahan), dan kapasitas adaptasi (misalnya keterlibatan pemangku kepentingan dan legislasi perlindungan mangrove) (Ellison et al., 2015; Adriman et al., 2022; Analuddin et al., 2024).

Oleh karena hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan pengetahuan melalui analisis integratif terhadap stok karbon ekosistem mangrove pada berbagai umur tegakan dan kondisi hidrogeomorfologi di Indonesia. Secara khusus, penelitian ini mengevaluasi: (1) pengaruh struktur vegetasi (kepadatan pohon, luas basal area, dan keanekaragaman spesies) terhadap stok karbon di atas dan di bawah permukaan tanah; (2) kontribusi karakteristik sedimen (*bulk density* dan kandungan karbon organik) terhadap stok karbon sedimen; serta (3) variasi stok karbon ekosistem berdasarkan kombinasi umur tegakan dan kondisi hidrogeomorfologi; (4) aspek kerentanan (*vulnerability*) ekosistem mangrove terhadap perubahan lingkungan dan tekanan antropogenik.

Penelitian ini dilakukan di beberapa wilayah yang merepresentasikan keragaman ekologi dan kondisi lingkungan di Indonesia, yaitu Pariaman (Sumatera Barat), Indramayu (Jawa Barat), Brebes, Pemalang, Pekalongan Surabaya (Jawa Tengah), dan Pulau Madura (Jawa Timur). Beberapa titik pengamatan juga dilakukan di kawasan tambak yang memiliki keberadaan vegetasi mangrove dalam sistem budidaya campuran seperti *silvofishery*, di antaranya seperti di Indramayu, Surabaya, dan Pekalongan, yang kemungkinan merupakan bekas ekosistem mangrove alami. Lokasi-lokasi ini digunakan untuk merepresentasikan kondisi mangrove terdegradasi dalam analisis stok karbon dan penilaian kerentanan. Selain pendekatan lapangan, penelitian ini juga mengintegrasikan analisis spasial-temporal perubahan tutupan mangrove sejak tahun 1990 hingga 2023 serta proyeksi hingga tahun 2055. Proyeksi dilakukan menggunakan *plugin* MOLUSCE di QGIS dan *Google Earth Engine* (GEE).

Melalui pendekatan multidisipliner dan multiskala, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam memperluas pemahaman mengenai dinamika stok karbon ekosistem mangrove serta aspek kerentanannya terhadap tekanan lingkungan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu dasar dalam mendukung pengelolaan ekosistem mangrove yang berkelanjutan. Selain itu, temuan penelitian ini juga relevan untuk mendukung implementasi Strategi Nasional Pengelolaan Ekosistem Mangrove jangka panjang yang sejalan dengan visi *Indonesia Maju 2045*. Lebih lanjut, kajian ini diharapkan dapat memberikan

kontribusi terhadap upaya pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals*), khususnya dalam menjaga ekosistem laut (SDG 14), pengentasan kemiskinan dan kelaparan (SDG 1 dan 2), peningkatan mata pencaharian dan pertumbuhan ekonomi berkelanjutan (SDG 8), penanggulangan dampak perubahan iklim (SDG 13), serta pelestarian ekosistem darat (SDG 15). Kontribusi ini mendukung agenda pembangunan rendah karbon yang menekankan keseimbangan antara pertumbuhan ekonomi dan perlindungan lingkungan hidup.

1.2 Perumusan Masalah

Ekosistem mangrove memiliki peran vital dalam mitigasi perubahan iklim, perlindungan pantai, dan penyediaan jasa ekosistem penting lainnya. Indonesia memiliki kawasan mangrove terluas di dunia, namun ekosistem ini menghadapi tekanan yang semakin besar akibat alih fungsi lahan, abrasi pantai, dampak perubahan iklim, serta aktivitas pembangunan yang masif di zona pesisir. Dalam konteks ini, pengelolaan mangrove yang berkelanjutan membutuhkan pemahaman yang menyeluruh mengenai karakteristik ekologis dan stok karbon, dinamika tutupan lahan dalam jangka panjang, serta tingkat kerentanannya terhadap tekanan lingkungan dan aktivitas manusia. Namun demikian, kajian yang secara terpadu menghubungkan aspek biofisik, spasial-temporal, dan kerentanan sosial-ekologis di berbagai lokasi dengan kondisi ekosistem yang berbeda-beda masih terbatas.

Salah satu tantangan utama dalam pengelolaan mangrove adalah keterbatasan data mengenai stok karbon ekosistem yang bervariasi berdasarkan umur tegakan vegetasi dan kondisi hidrogeomorfologi. Variasi ini memengaruhi kapasitas ekosistem dalam menyimpan karbon dan merespons tekanan eksternal. Di sisi lain, belum banyak penelitian yang memetakan perubahan tutupan mangrove dalam rentang waktu yang panjang dan mengevaluasi skenario proyeksi ke depan yang mengintegrasikan data spasial dan ekologis. Pemahaman terhadap tren dan proyeksi perubahan tutupan mangrove sangat penting untuk mendukung kebijakan konservasi dan rehabilitasi yang berbasis bukti.

Studi mengenai kerentanan ekosistem mangrove yang mempertimbangkan faktor eksposur, sensitivitas, dan kapasitas adaptasi pada masing-masing lokasi studi juga masih cukup jarang dilakukan secara komprehensif. Pendekatan kerentanan ini penting untuk menilai risiko terhadap keberlanjutan fungsi ekosistem, terutama dalam menghadapi perubahan lingkungan dan tekanan aktivitas manusia yang terus meningkat. Penilaian kerentanan yang kontekstual dan berbasis data spasial-biofisik dapat menjadi dasar rekomendasi dalam perencanaan pengelolaan yang lebih adaptif.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini dirancang untuk menjawab tiga pertanyaan utama:

1. Bagaimana karakteristik struktur vegetasi dan stok karbon mangrove pada berbagai umur tegakan dan kondisi hidrogeomorfologi di lokasi studi?
2. Bagaimana perubahan tutupan mangrove dari tahun 1990 hingga 2023, serta seperti apa proyeksi distribusinya pada \pm 30 tahun mendatang dan dampaknya terhadap stok karbon di lokasi studi?
3. Bagaimana tingkat kerentanan ekosistem mangrove terhadap tekanan lingkungan dan antropogenik di masing-masing lokasi?
4. Bagaimana bentuk rekomendasi yang dapat disusun untuk mendukung pengelolaan berkelanjutan?

1.3 Tujuan Penelitian

1.3.1 Tujuan Umum

Tujuan umum penelitian ini adalah untuk menganalisis karakteristik struktur vegetasi, stok karbon, perubahan tutupan mangrove, dan tingkat kerentanan ekosistem mangrove terhadap faktor lingkungan dan antropogenik, serta memberikan rekomendasi pengelolaan berkelanjutan berdasarkan hasil analisis tersebut di lokasi-lokasi studi.

1.3.2 Tujuan Khusus

1. Menganalisis karakteristik struktur vegetasi dan stok karbon pada ekosistem mangrove di berbagai umur tegakan dan kondisi hidrogeomorfologi di lokasi studi;
2. Menganalisis perubahan tutupan mangrove dari tahun 1990 hingga 2023, serta memproyeksikan distribusi mangrove pada \pm 30 tahun mendatang dan dampaknya terhadap stok karbon;
3. Menganalisis tingkat kerentanan ekosistem mangrove terhadap tekanan lingkungan dan antropogenik di masing-masing lokasi;
4. Menyusun rekomendasi pengelolaan berkelanjutan untuk mendukung pengelolaan ekosistem mangrove yang berkelanjutan.

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan di bidang ekologi mangrove, khususnya yang berkaitan dengan dinamika stok karbon, perubahan tutupan lahan, dan kerentanan ekosistem terhadap tekanan lingkungan dan antropogenik. Kajian ini juga dapat memperkaya pendekatan interdisipliner dalam studi ekosistem pesisir melalui integrasi aspek struktur vegetasi, kondisi hidrogeomorfologi, spasial-temporal, serta penilaian kerentanan, yang secara teoritis dapat memperkuat dasar pengelolaan ekosistem mangrove secara adaptif dan berkelanjutan.

1.4.2 Manfaat Praktis

1. Bagi Pengembangan Keilmuan dan Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi pengembangan studi lanjutan di bidang ekologi pesisir, khususnya terkait dinamika stok karbon, perubahan tutupan mangrove, serta penilaian kerentanan ekosistem. Metode yang digunakan dapat memperkaya pendekatan analitis dalam pengelolaan ekosistem mangrove di masa mendatang.

2. Bagi Pemerintah dan Pengambil Kebijakan

Hasil penelitian ini dapat memberikan masukan bagi pemerintah pusat dan daerah dalam perencanaan tata ruang pesisir, pengelolaan berkelanjutan ekosistem mangrove. Penelitian ini juga relevan untuk mendukung pencapaian target Prioritas Nasional dalam Pembangunan Rendah Karbon.

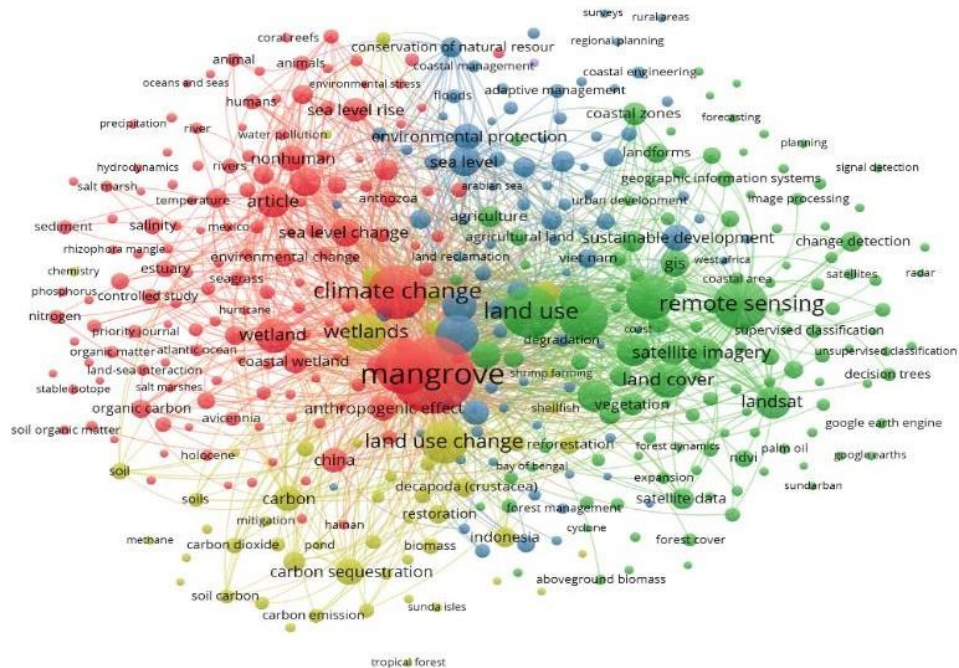
3. Bagi Masyarakat

Penelitian ini dapat memberikan pemahaman kepada masyarakat mengenai pentingnya fungsi ekologis mangrove dalam mendukung ketahanan pesisir dan mitigasi perubahan iklim. Informasi ini diharapkan dapat mendorong partisipasi aktif masyarakat dalam pelestarian dan pengelolaan ekosistem mangrove secara berkelanjutan.

1.5 Posisi dan *Gap* Penelitian

Posisi dan gap penelitian terhadap penelitian sebelumnya diketahui melalui pemetaan bibliometrik. Informasi bibliografi dengan metadata artikel sering digunakan sebagai alat untuk mengetahui kinerja penelitian-penelitian dan perspektifnya. Dalam hal ini, analisis bibliometrik merupakan tinjauan literatur berbasis metodologi. Analisis bibliometrik juga membantu meninjau kemajuan penelitian (Paul dan Criado, 2020). Selain itu, bibliometrik dapat mengevaluasi kata kunci dan literatur menggunakan statistik dan memberikan subjek penelitian baru kepada peneliti, sehingga menjadi jembatan antar bidang yang berbeda (Linnenluecke et al., 2020).

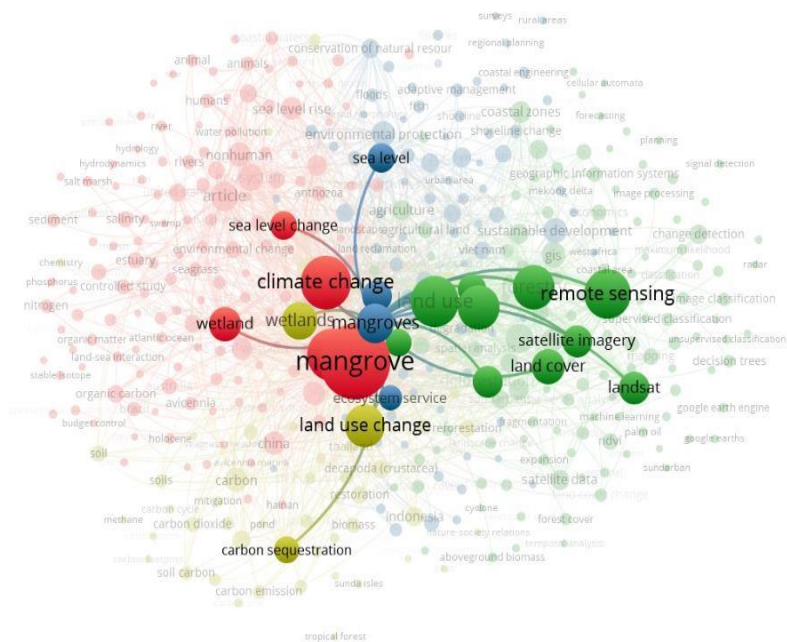
Sebagai bagian dari kajian ini, dilakukan pemetaan bibliometrik dilakukan terhadap publikasi ilmiah yang mengkaji analisis spasial-temporal pada stok karbon. Proses ini memanfaatkan fitur *co-occurrence* pada aplikasi VOSviewer, dengan data yang diperoleh dari basis data Scopus selama lima tahun terakhir. Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat 415 kata kunci yang berhasil diidentifikasi dan dikelompokkan menjadi lima klaster, yang masing-masing dibedakan berdasarkan warna seperti yang ditampilkan pada Gambar 1.



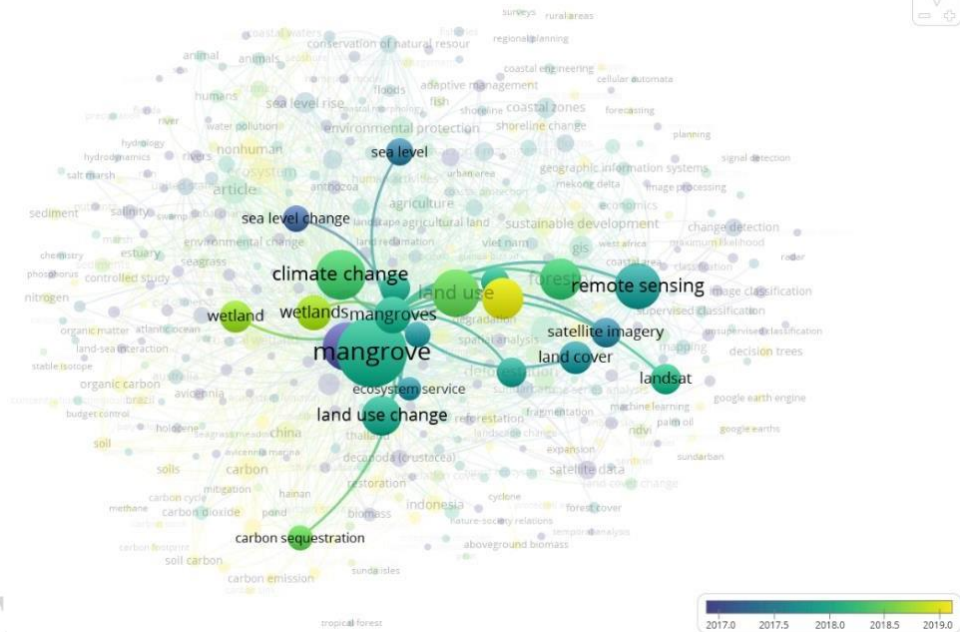
Gambar 1. Hasil analisis *Network Visualization* pada VOSviewer

Hasil dari analisis *network visualization* menunjukkan lima kluster, antara lain merah, hijau, biru, kuning, dan ungu termasuk berbagai kata kunci. Seperti terlihat pada diagram visualisasi jaringan (Gambar 2), kata kunci 'mangrove' memiliki kemunculan tertinggi ($n = 657$) dan total kekuatan hubungan maksimum (9.886), kemudian diikuti oleh 'climate change' (kemunculan: 339; kekuatan hubungan : 4.305), 'land-use' (kemunculan: 310; kekuatan tautan: 4.552), 'remote sensing' (kemunculan: 292; kekuatan tautan: 3.365), dan 'carbon sequestration' (kemunculan: 85; kekuatan tautan : 1.277).

Item kata kunci yang sering muncul bersamaan dalam publikasi yang sama akan berdekatan satu sama lain dalam hasil visualisasi, sedangkan item yang tidak berkaitan erat akan memiliki kemunculan bersama yang rendah. Selanjutnya, berdasarkan pemetaan kluster kata kunci yang dilakukan untuk memahami hubungan atau keterkaitan antara kata kunci penelitian dapat diketahui bahwa tren penelitian terbanyak adalah mengenai mangrove, *climate change*, *land-use change*, *land cover*, *remote sensing*, *carbon sequestration*, *sea level rise*, *satellite imagery*, dan *ecosystem services* (Gambar 2). Penelitian terkait topik tersebut cukup banyak dilakukan pada rentang tahun 2017 – 2019 sebagaimana yang tersaji pada Gambar 3.



Gambar 2. Hasil analisis trend *network visualization* berdasarkan kata kunci utama



Gambar 3. Hasil analisis trend overlay *visualization* berdasarkan kata kunci utama

Berdasarkan analisis bibliometrik dan visualisasi peta menggunakan *software* VOSviewer, diketahui dalam sepuluh tahun terakhir, topik penelitian tentang isu terkait kajian perubahan spasial-temporal pada stok karbon ekosistem mangrove dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh (*remote sensing*) telah menarik minat peneliti yang ditunjukkan dengan semakin banyaknya publikasi. Selain itu, temuan penelitian ini juga menunjukkan bahwa topik tersebut mencakup berbagai

konsep dan akan terus berkembang. Oleh karena itu, penelitian ini akan berfokus pada analisis spasial-temporal, stok karbon, dan kerentanan ekosistem mangrove untuk pengelolaan yang berkelanjutan.

1.6 Orisinalitas dan Novelty Penelitian

Kajian mengenai degradasi, potensi stok karbon, dan pengelolaan ekosistem mangrove telah banyak dilakukan di Indonesia, baik pada skala lokal maupun regional. Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji dampak perubahan tata guna lahan terhadap ekosistem mangrove dalam jangka waktu panjang. Maryantika dan Lin (2017), misalnya, menganalisis perubahan penggunaan lahan dan distribusi mangrove di Kabupaten Sidoarjo selama dua dekade (1995–2015) menggunakan data citra Landsat. Irsadi et al. (2019) meneliti pengaruh perubahan garis pantai terhadap ekosistem mangrove di kawasan pesisir Semarang-Demak. Hermon et al. (2018) mengkaji dampak alih fungsi lahan terhadap tutupan mangrove dan stok karbon biru di Pulau Belitung selama periode 1995–2015.

Studi mengenai struktur ekosistem dan biodiversitas mangrove juga telah dilakukan di berbagai lokasi di Indonesia, seperti di Kota Pariaman (Alvareza dan Leilani, 2020), Kabupaten Indramayu (Tufliha et al., 2019), Desa Kaliwlingi di Brebes (Nainggolan et al., 2022), Desa Mojo di Pemalang (Renta et al., 2016), Kota Pekalongan (Ario et al., 2016), Desa Wonorejo di Surabaya (Wijaya dan Huda, 2018), serta kawasan pesisir Selat Madura (Hidayah et al., 2024). Penelitian tentang estimasi stok karbon mangrove juga telah dilakukan di berbagai lokasi di Pulau Jawa, antara lain di Desa Bedono, Kabupaten Demak (Azzahra, 2020; Rahim et al., 2024), Manguharjo, Kota Semarang (Hadiyanto et al., 2021), Pandansari, Kabupaten Brebes (Ahmed et al., 2023), dan Pasar Banggi, Kabupaten Rembang (Soeprbowati et al., 2024).

Selain di Pulau Jawa, kajian stok karbon mangrove juga telah mencakup wilayah yang lebih luas di Indonesia, seperti Kalimantan (Arifanti et al., 2019) dengan sistem estuarin yang luas dan kaya karbon, Papua (Sasmito et al., 2020) dengan ekosistem mangrove pasang surut yang relatif masih alami, serta Sulawesi (Cameron et al., 2019a; Analuddin et al., 2024) dengan karakteristik bentang pesisir

yang beragam. Kajian-kajian ini memberikan kontribusi penting dalam memahami dinamika dan distribusi stok karbon mangrove di berbagai kondisi hidrogeomorfologis dan ekologis.

Penelitian mengenai pengelolaan mangrove berbasis kebijakan telah banyak dilakukan, seperti oleh Salminah dan Alviya (2019) yang mengevaluasi efektivitas kebijakan pengelolaan mangrove dalam mendukung mitigasi perubahan iklim di Kalimantan Timur. Hasil kajian tersebut menunjukkan bahwa pengelolaan mangrove sering kali tidak efektif akibat keterbatasan data spasial-temporal serta lemahnya regulasi teknis lanjutan. Sementara itu, pendekatan partisipatif dalam pengelolaan adaptif juga telah banyak disoroti, seperti oleh Susanto et al. (2023) dan Danarto et al. (2019), yang menekankan pentingnya peran aktif masyarakat lokal sebagai mitra utama dalam upaya rehabilitasi dan konservasi mangrove secara berkelanjutan.

Selain aspek kebijakan dan partisipasi, kajian kerentanan (*vulnerability assessment*) ekosistem mangrove terhadap tekanan perubahan iklim dan aktivitas manusia juga telah dilakukan di berbagai wilayah dunia. Ellison et al. (2015), misalnya, melakukan penilaian kerentanan di kawasan Douala Estuary (Kamerun), Rufiji Delta (Tanzania), dan Tikina Wai (Fiji), yang menunjukkan bahwa tingkat kerentanan mangrove sangat dipengaruhi oleh interaksi antara tekanan lokal dan dinamika perubahan iklim global. Selanjutnya di Indonesia, Analuddin et al. (2024) telah melakukan kajian serupa di pesisir Sulawesi Selatan, yang mengintegrasikan parameter biofisik, sosial, dan tata kelola dalam menilai risiko dan kerentanan ekosistem mangrove. Studi-studi tersebut menjadi pijakan penting dalam membangun pendekatan sistematis terhadap perlindungan dan pengelolaan mangrove yang responsif terhadap perubahan.

Namun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih bersifat parsial dan belum secara komprehensif mengkaji perubahan spasial-temporal ekosistem mangrove dan keterkaitannya dengan dinamika stok karbon dan emisi karbon dari waktu ke waktu. Belum banyak penelitian yang secara sistematis menggabungkan pendekatan multi-temporal, multi-lokasi, dan multi-dimensi yang meliputi aspek struktur vegetasi, kondisi biofisik, perubahan bentang lahan, potensi stok karbon,

serta kerentanan ekosistem mangrove terhadap tekanan lingkungan dan antropogenik, untuk mendukung strategi pengelolaan ekosistem mangrove secara berkelanjutan.

Berdasarkan hal tersebut, orisinalitas dari penelitian ini terletak pada pendekatannya yang integratif dan komprehensif, dengan menggabungkan analisis spasial-temporal perubahan ekosistem mangrove, kuantifikasi stok dan emisi karbon dalam lintas waktu dan lintas lokasi, serta penilaian kerentanan ekosistem terhadap tekanan lingkungan. Lokasi penelitian mencakup Kota Pariaman, kawasan Pantura Jawa (Indramayu, Brebes, Pemalang, Pekalongan, dan Surabaya), serta Pulau Madura sebagai representasi dari variasi umur tegakan vegetasi, hidrogeomorfologi dan tekanan antropogenik di Indonesia.

Adapun *novelty* atau kebaruan dari penelitian ini meliputi: (1) Kajian hubungan antara umur tegakan dan kondisi hidrogeomorfologi terhadap variasi stok karbon ekosistem mangrove, baik di atas maupun bawah permukaan tanah; (2) Integrasi pendekatan multiskala dalam memetakan perubahan tutupan mangrove selama rentang tahun 1990 - 2023 dan proyeksinya hingga ± 30 tahun mendatang; (3) Penilaian kerentanan ekosistem mangrove berbasis tiga komponen utama: eksposur, sensitivitas, dan kapasitas adaptasi, yang disusun berdasarkan data primer dan sekunder di lapangan; (4) Penyediaan landasan ilmiah yang dapat mendukung pengelolaan ekosistem mangrove yang berkelanjutan dan berbasis bukti ilmiah. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi penting dalam memperkuat basis data dan informasi ilmiah terkait pengelolaan ekosistem mangrove, sekaligus memperkaya perspektif dalam pengembangan kebijakan konservasi dan restorasi yang adaptif di Indonesia. Adapun beberapa penelitian yang telah dilakukan dan menjadi referensi dalam penelitian ini tersaji dalam Tabel 1.

Tabel 1. Penelitian terdahulu

No	Nama/ Tahun	Judul	Tujuan dan Hasil
1.	Liu <i>et al.</i> (2014)	<i>Carbon stocks and potential carbon storage in the mangrove forests of China</i>	Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi stok karbon mangrove China. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hutan mangrove di China menyimpan karbon sebesar $355,25 \pm 82,19 \text{ Mg C ha}^{-1}$ di mana 81,74% tersimpan dalam sedimen, dan 18,12% dalam biomassa pohon.
2.	Stringer <i>et al.</i> (2015)	<i>Carbon stocks of mangroves within the Zambezi River Delta, Mozambique</i>	Studi ini bertujuan untuk menghitung stok karbon ekosistem mangrove Delta Sungai Zambezi melalui metode inventaris sampel acak bertingkat berbasis Satelit/Geosains (ICE Sat/GLAS). Hasil studi menunjukkan estimasi total stok karbon pada ekosistem mangrove berdasarkan distribusi spasial di delta sungai Zembezi adalah $1,4 \times 10^7 \text{ Mg C}$.
3.	Ellison <i>et al.</i> (2015)	<i>Vulnerability assessment of mangroves to climate change and sea-level rise impacts</i>	Perubahan iklim, khususnya kenaikan permukaan laut, meningkatkan kerentanan kawasan pesisir mangrove. Penilaian kerentanan di beberapa lokasi seperti Douala Estuary, Rufiji Delta, dan Tikina Wai menunjukkan bahwa semua situs memiliki komponen kerentanan, terutama akibat tekanan non-iklim, kondisi geomorfologi, dan kapasitas adaptif yang rendah.
4.	Maryantika dan Lin (2017)	<i>Exploring Changes of Land Use and Mangrove Distribution in the Economic Area of Sidoarjo District, East Java using Multi-temporal Landsat Images</i>	Penelitian ini mengkaji penggunaan citra Landsat multi-temporal untuk memetakan perubahan penggunaan lahan lahan dan ekosistem mangrove. Hasil penelitian menunjukkan dari tahun 1995 - 2015, 22% mangrove berubah menjadi lahan pertanian.

No	Nama/ Tahun	Judul	Tujuan dan Hasil
5.	Jaikishum <i>et al.</i> (2017)	<i>Carbon storage potential of mangrove forest in Guyana</i>	Penelitian ini berfokus pada kuantifikasi karbon tiap spesies mangrove di Guyana. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dua spesies (<i>R. mangle</i> dan <i>A. germinans</i>) memiliki potensi kapasitas stok karbon yang lebih besar (481 Mg/ha) dibandingkan spesies lain yang ditemukan di Guyana.
6.	Hermon <i>et al.</i> (2018)	<i>The Model of Mangrove Land Cover Change for the Estimation of Blue Carbon Stock Change in Belitung Island - Indonesia</i>	Penelitian ini bertujuan untuk merumuskan model perubahan luas mangrove dan mengestimasi stok karbon biru di Belitung pada tahun 1995-2015. Penelitian ini menitik beratkan pada pengaruh perubahan tutupan mangrove terhadap simpanan stok karbon.
7.	Irsadi <i>et al.</i> (2019)	<i>Shoreline and Mangrove Analysis Along Semarang-Demak, Indonesia For Sustainable Environmental Management</i>	Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan garis pantai dan status mangrove di pesisir Semarang-Demak. Penelitian ini menitik beratkan pada perhitungan perubahan luas abarasi dan akresi yang terjadi serta pengaruhnya terhadap struktur komposisi mangrove.
8.	Salminah dan Alviya (2019)	Efektivitas Kebijakan Pengelolaan Mangrove Untuk Mendukung Mitigasi Perubahan Iklim Di Provinsi Kalimantan Timur	Penelitian ini bertujuan untuk mengukur efektivitas kebijakan untuk mengetahui potensi dan kendala upaya mitigasi perubahan iklim dilihat dari aspek kebijakannya. Hasil penelitian ini menunjukkan ketidakefektifan dalam pelaksanaan pengelolaan mangrove, ditandai dengan belum adanya peraturan teknis sebagai peraturan lanjutan penyediaan satu data mangrove dan tata guna lahan, serta penyediaan opsi pengelolaan mangrove ramah lingkungan.

No	Nama/ Tahun	Judul	Tujuan dan Hasil
9.	Danarto <i>et al.</i> (2019)	Kajian Pengelolaan Ekosistem Mangrove Sebagai Sarana Pengurangan Risiko Bencana Di Kota Semarang	Penelitian ini bertujuan untuk menilai efektivitas tata kelola kebijakan pengelolaan ekosistem mangrove dan menilai relevansi kebijakan pengelolaan ekosistem mangrove. Hasil yang menunjukkan bahwa pengelolaan ekosistem mangrove di bawah Kelompok Kerja Mangrove Kota Semarang cenderung lebih tertata dengan pembagian tugas yang jelas pada tiap <i>stakeholder</i>
10.	Cameron <i>et al.</i> (2019)	<i>Community structure dynamics and carbon stock change of rehabilitated mangrove forests in Sulawesi, Indonesia</i>	Penelitian ini mengevaluasi pemulihan cadangan karbon di lokasi rehabilitasi mangrove di Sulawesi untuk menilai potensinya dalam pasar karbon biru. Studi ini menunjukkan bahwa keberhasilan rehabilitasi mangrove dalam menyerap karbon sangat bergantung pada kondisi geomorfik, dengan lokasi produktif seperti Tiwoho mampu memulihkan cadangan karbon secara signifikan, sementara lokasi seperti Tanakeke menunjukkan hasil minimal.
12.	Suhaili <i>et al.</i> (2020)	<i>Carbon stock estimation of mangrove forest in Sulaman Lake Forest Reserve, Sabah, Malaysia</i>	Penelitian ini dilakukan untuk mengukur stok karbon ekosistem mangrove di Sulaman, Malaysia. Hasil menunjukkan total stok karbon di lokasi penelitian adalah 441,72 Mg C ha ⁻¹ , di mana 80% nya karbon tersimpan pada sedimen.

No	Nama/ Tahun	Judul	Tujuan dan Hasil
13.	Sasmito <i>et al.</i> (2020)	<i>Mangrove blue carbon stocks and dynamics are controlled by hydrogeomorphic settings and land-use change</i>	Studi ini menunjukkan bahwa stok karbon mangrove sangat dipengaruhi oleh kondisi hidrogeomorfik dan riwayat perubahan lahan. Deforestasi dan konversi menjadi tambak menyebabkan kehilangan besar karbon, sementara regenerasi selama >25 tahun dapat memulihkan stok biomassa karbon mendekati hutan alami. Temuan ini menegaskan mengenai pentingnya mempertimbangkan karakteristik lanskap dalam kebijakan iklim dan restorasi.
15.	Susanto <i>et al.</i> (2023)	Pengelolaan Pesisir Selat Sunda Melalui Penanaman Mangrove Sebagai Upaya Mitigasi Bencana Dan Perubahan Iklim	Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kegiatan rehabilitasi ekosistem mangrove dan penguatan kapasitas masyarakat di Selat Sunda. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penguatan peran kelompok masyarakat dalam pengelolaan ekosistem mangrove adalah komponen penting bagi keberhasilan upaya rehabilitasi mangrove dan mitigasi perubahan iklim
16.	Analuddin <i>et al.</i> (2024)	<i>Mangrove Vulnerability and Blue Carbon Storage in the Coral Trangle Areas, Southeast Sulawesi, Indonesia</i>	Penelitian ini menilai kerentanan ekosistem mangrove dan dampaknya terhadap simpanan karbon biru di Sulawesi Tenggara. Mangrove di kawasan lindung memiliki kerentanan lebih rendah dan menyimpan karbon lebih tinggi dibanding kawasan tidak terlindungi. Hasil ini menunjukkan pentingnya konservasi dan rehabilitasi untuk menjaga fungsi penyimpanan karbon mangrove secara optimal.

No	Nama/ Tahun	Judul	Tujuan dan Hasil
17.	Soeprbowati <i>et al.</i> (2024)	<i>The carbon stock potential of the restored mangrove ecosystem of Pasarbanggi, Rembang, Central Java</i>	Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi potensi total stok karbon pada ekosistem mangrove hasil restorasi di Pasarbanggi, Rembang, Jawa Tengah. Estimasi dilakukan melalui pendekatan alometrik untuk biomassa atas dan bawah tanah, serta metode loss-on-ignition untuk serasah dan sedimen. Hasilnya menunjukkan bahwa total stok karbon mencapai $0,02 \times 10^6$ MgC, setara dengan potensi emisi CO ₂ sebesar $0,08 \times 10^6$ MgCO _{2e} , dengan sekitar 65% tersimpan dalam sedimen.



SEKOLAH PASCASARJANA