

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Mangrove merupakan tumbuhan yang hidup di daerah antara daratan dan lautan yang terpengaruh pasang surut. Ekosistem mangrove menjadi salah satu ekosistem paling produktif yang memiliki berbagai fungsi ekologis maupun ekonomis, diantaranya sebagai penahan abrasi, habitat biota, abrasi pantai, pemecah gelombang, arus, dan badai dalam melindungi habitat dan penggunaan lahan di sekitar garis (Nguyen & Nguyen, 2021). Mangrove berperan besar dalam menghadapi perubahan iklim karena kemampuannya dalam menyerap dan menyimpan karbon dan melindungi pesisir (Yumnaristya et al., 2023). Selain fungsi mitigasi iklim, struktur perakaran mangrove merekat pada sedimen untuk menstabilkan garis pantai dan menyediakan habitat penting bagi ikan dan krustasea bernilai ekonomi. Menurut Rafdinal et al. (2022), peranan mangrove di kawasan pesisir antara lain, sebagai penahan intrusi air laut, menahan gelombang tinggi, mencegah abrasi, dan sebagai habitat bagi ikan, kepiting, dan hewan lainnya. Salah satu fungsi terpenting ekosistem mangrove adalah sebagai penyerap karbon. Penyerapan karbon merupakan proses menghilangkan karbon dari atmosfer yang disimpan di dalam vegetasi, tanah, dan sistem alam lainnya. Menurut Qiao et al. (2021), karbon yang disimpan dalam sistem-sistem ini disebut stok karbon. Mangrove menjadi *nature-based solution* utama karena kemampuannya dalam menyerap karbon dari atmosfer. Stok karbon global dari mangrove rata-rata mencapai 956 tonC/hektar, dimana hal tersebut jauh lebih tinggi dibandingkan dengan hutan hujan tropis, rawa, dan padang lamun (Kusumaningtyas et al., 2019).

Indonesia memiliki mangrove seluas 2.953.398 ha yang mencakup sekitar 20% dari total mangrove global dan 61,25% dari luas mangrove di Asia Tenggara (Blanton et al., 2024). Mangrove Indonesia terletak di kawasan 'hot spot' mangrove dunia dimana terdapat setidaknya 243 jenis mangrove, termasuk 48 jenis mangrove

sejati (Sidik et al., 2019). Kondisi hutan mangrove di Indonesia mengalami beberapa tekanan, baik dari faktor alam maupun faktor manusia (Rafdinal et al., 2022). Jumlah penduduk yang meningkat cepat beserta intensitas pembangunan sumber daya alam di dataran sudah mulai menipis dan dengan kenyataan bahwa 60% dari penduduk Indonesia (kira-kira 185 juta jiwa) yang dianggap tinggal di pesisir, tidaklah mengherankan bahwa lingkungan pesisir menjadi pusat pemanfaatan sekaligus pengrusakan yang tingkatnya sudah cukup parah untuk beberapa daerah tertentu (Huda et al., 2019). Menurut Arifanti et al. (2021), degradasi kawasan mangrove yang dihitung dari tahun 2009-2019 di Indonesia dapat mencapai 182,91 ha dengan potensi emisi rata-rata sebesar 136,9 MgCO₂e/ha/tahun. Mangrove Indonesia memiliki potensi untuk menyimpan cadangan karbon biru. Dengan demikian, perlindungan dan pemulihan mangrove tidak hanya penting bagi ekologi pesisir, tetapi juga sebagai instrument pembangunan ekonomi berkelanjutan dan mitigasi perubahan iklim.

Di Kecamatan Rembang, ekosistem mangrove dapat dijumpai di Desa Tireman, Kabongan Lor, dan Pasarbanggi (Soebandriyo, 2015). Sepanjang pesisir Kabupaten Rembang, termasuk kawasan mangrove Desa Tireman mengalami kerusakan akibat abrasi pada pertengahan tahun 1964 (Anggraini & Marfai, 2017). Desa Kabongan lor memiliki mangrove yang sangat terbatas jumlahnya dikarenakan adaptasi masyarakat di desa ini terhadap bencana pesisir tidak berbasis pada ekosistem. Masyarakat Desa Kabongan Lor didominasi bekerja sebagai nelayan sehingga tidak banyak masyarakat yang memanfaatkan hutan mangrove untuk memenuhi kebutuhan pangan sehari-hari. Berdasarkan observasi Sholeh et al. (2024), ekosistem mangrove di Pasarbanggi dapat dikategorikan sebagai salah satu yang terbaik di sepanjang Jalur Pantura. Kawasan mangrove di Desa Pasarbanggi dianggap salah satu yang terbaik karena kelestariannya yang relatif baik berkat upaya rehabilitasi masyarakat sejak tahun 1960-an (Annas et al., 2013). Meskipun rehabilitasi mangrove di Pasarbanggi telah berlangsung sejak lama, tekanan lingkungan dan aktivitas manusia masih menjadi faktor degradasi ekosistem. Kegiatan manusia seperti tambak, wisata, dan penebangan pohon menjadi faktor tekanan lingkungan bagi mangrove.

Ekosistem mangrove di wilayah pesisir Kecamatan Rembang memiliki peran penting dalam menyimpan karbon atmosfer melalui biomassa, sehingga mangrove disini berkontribusi signifikan terhadap mitigasi perubahan iklim Amaliyah *et al.* (2022). Menurut Mardiyah *et al.* (2019), estimasi simpanan karbon di ekosistem mangrove Pasarbanggi menunjukkan angka yang sangat tinggi, yakni 9.620,451 ton C untuk tegakan dan 920,982 ton C pada sedimen untuk luasan mangrove sebesar 21,90 ha. Sementara itu, hasil estimasi simpanan karbon tegakan di Desa Tireman sebesar 4.633,618 ton C dan simpanan karbon sedimen sebesar 471,929 ton C untuk luas area mangrove sebesar 10,97 ha. Temuan ini menunjukkan potensi besar mangrove bagi Pasarbanggi dan Tireman sebagai cadangan karbon biru. Penelitian Rahmat *et al.* (2022) menunjukkan bahwa rata-rata simpanan karbon tegakan mencapai 193,47 ton C/ha dengan total 4.001,37 ton C untuk luasan $\pm 20,68$ ha, distribusi kerapatan mangrove tidak merata di Pasarbanggi. Analisis NDVI memperlihatkan adanya area dengan kerapatan rendah hingga sedang akibat konversi lahan untuk tambak, infrastruktur pesisir, dan aktivitas penebangan selektif.

Beberapa dekade terakhir, ekosistem pesisir Kabupaten Rembang menghadapi tekanan besar dari aktivitas manusia. Kajian lokal menunjukkan faktor utamanya adalah konversi lahan mangrove menjadi tambak garam atau tambak ikan dan pembangunan pantai. Misalnya, pembukaan lahan tambak secara masif di desa-desa pesisir Rembang selama kurun waktu tersebut secara langsung mengurangi luas hutan mangrove (Purnomo *et al.*, 2015). Aktivitas alih fungsi lahan ini meliputi penebangan pohon mangrove untuk kebutuhan bahan bangunan atau perluasan tambak, serta reklamasi pantai untuk pelabuhan dan permukiman. Studi Yoni & Heriyanti (2025) di Tireman menyatakan penurunan luas mangrove diakibatkan oleh aktivitas antropogenik seperti alih fungsi lahan dan eksploitasi berlebih. Tekanan lain yang disebutkan termasuk pencemaran sampah dan limbah industri, serta sedimentasi buatan yang mempengaruhi dinamika pantai. Namun, diantara faktor-faktor tersebut, konversi lahan menjadi tambak garam dan tambak ikan adalah penyumbang kerusakan terbesar di Rembang. Wicaksono *et al.* (2016) juga mengatakan bahwa kerusakan mangrove muncul akibat perluasan tambak,

penebangan pohon mangrove, reklamasi, sedimentasi pantai, serta pencemaran sampah plastik yang mengganggu kondisi habitat mangrove, bahkan dalam kawasan yang dikembangkan sebagai wilayah ekowisata dan konservasi. Keberadaan ekowisata meski bermanfaat, aktivitas ini turut memberi tekanan. Saputro et al. (2019) mencatat bahwa meski kawasan termasuk kategori layak untuk wisata berkelanjutan, intensitas pengunjung yang meningkat tanpa pengelolaan ketat dapat mempercepat degradasi vegetasi mangrove.

Monitoring ekosistem mangrove, seperti estimasi biomassa atas permukaan tanah mangrove dapat diintegrasikan dengan teknologi citra satelit (Castillo et al., 2017). Pemanfaatan citra satelit untuk pemetaan dinamika hutan mangrove telah banyak dilakukan penelitian (Salim et al., 2020). Beberapa instansi pemerintah maupun swasta menggunakan teknologi citra satelit untuk memenuhi kebutuhan spasial untuk kegiatannya. Teknologi citra satelit memiliki beberapa kelebihan seperti memantau permukaan bumi pada tingkat detail tertentu menggunakan kemampuan resolusi temporal dan spasial. Penggunaan citra satelit juga relatif murah bahkan gratis pada beberapa situs seperti USGS (*United States Geological Survey*) dan GEE (*Google Earth Engine*) dengan resolusi tinggi yang dapat mencakup wilayah yang luas. Kemajuan sensor Landsat 5/7 dengan resolusi 30 m dan Sentinel-2A/B dengan resolusi 10 m menyediakan deret citra 40 tahun yang memungkinkan rekonstruksi dinamika stok karbon mangrove. Pemetaan estimasi stok karbon mangrove sangat penting karena dapat memberikan gambaran dan pemahaman yang lebih baik tentang biomassa spasial-temporal dan dinamika karbon (Wicaksono et al., 2016). Penelitian Rafdinal et al. (2022) menghasilkan analisis regresi antara nilai NDVI dan tutupan kanopi di plot pengamatan menunjukkan adanya hubungan yang erat dengan nilai koefisien regresi (R^2) sebesar 0,917 atau 91,7%. Nilai NDVI dapat dijadikan variabel dalam menentukan kerapatan tajuk dari suatu titik. Informasi kuantitatif mengenai stok karbon biomassa mangrove masih langka. Ketersediaan data stok karbon biomassa mangrove berkelanjutan secara spasial-temporal sangat penting untuk acuan perencanaan mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan iklim.

Ekosistem mangrove berperan penting dalam upaya pengendalian perubahan iklim global. Evaluasi dan pengukuran jasa mangrove dalam menyimpan karbon diperlukan untuk menilai tren dinamika stok karbon atas permukaan di Pesisir Rembang. Penggunaan teknologi penginderaan jauh telah digunakan secara luas untuk memantau dinamika hutan mangrove dan memperkirakan cadangan karbon secara spasial dan temporal (Nguyen & Nguyen, 2021). Meskipun penggunaan teknologi penginderaan jauh telah banyak digunakan untuk memantau dinamika spasial-temporal hutan mangrove, estimasi biomassa dan stok karbon mangrove, penggunaan data penginderaan jauh dalam memetakan stok karbon mangrove tahun 1985-2025 masih terbatas di Desa Tireman, Kabongan Lor, dan Pasarbanggi, Rembang. Kekosongan data ini menghambat evaluasi efektivitas penanaman kembali dan desain zona restorasi berbasis data spasial. Sebagian besar program rehabilitasi mangrove masih menggunakan pendekatan yang seragam, misalnya penanaman satu jenis mangrove atau satu metode teknik konservasi diterapkan di semua lokasi tanpa mempertimbangkan perbedaan kondisi di lapangan seperti memadukan kekuatan biofisik lokal, kelemahan sosial-institusional, peluang ekonomi biru, dan ancaman perubahan iklim. Kerangka SWOT (*Strengths, Weakness, Opportunities, Threats*) dapat menjadi instrumen kajian strategis dengan menganalisis faktor-faktor strategis, baik faktor internal maupun eksternal (Aulia et al., 2024). Namun, studi SWOT sebelumnya jarang sekali memanfaatkan peta stok karbon spasial-temporal sebagai bukti kuantitatif kunci.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini berupaya menyusun seri peta stok karbon atas permukaan tahun 1985-2025 di Rembang menggunakan citra satelit Landsat dan Sentinel-2 dengan menganalisis dinamika spasio-temporal kehilangan dan akumulasi karbon mangrove serta mengkaji strategi rehabilitasi berbasis SWOT yang menimbang kekuatan biofisik, kelemahan kelembagaan, peluang pasar karbon, serta ancaman perubahan iklim di masa depan. Dengan demikian, hasil penelitian diharapkan menyediakan strategi rehabilitasi dalam upaya restorasi ekologi mangrove berkelanjutan.

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini dirumuskan dalam pertanyaan penelitian (*research question*) berikut.

1. Bagaimana karakteristik vegetasi mangrove eksisting di wilayah pesisir Rembang?
2. Bagaimana dinamika tutupan mangrove di Rembang secara spasial-temporal dari tahun 1985-2025 berdasarkan analisis digital?
3. Bagaimana dinamika stok karbon permukaan (*above ground carbon*) mangrove di Rembang secara spasial-temporal dari tahun 1985-2025 berdasarkan analisis digital?
4. Apa strategi rehabilitasi mangrove yang perlu dilakukan untuk restorasi ekologi mangrove berkelanjutan?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitiannya ini adalah:

1. Mengkaji karakteristik vegetasi mangrove eksisting berdasarkan analisis Indeks Nilai Penting
2. Menganalisis dinamika spasio-temporal tutupan mangrove tahun 1985, 1995, 2005, 2016, 2025 berdasarkan analisis geospasial pengolahan digital citra satelit Landsat dan Sentinel-2A
3. Menganalisis dinamika spasio-temporal stok karbon permukaan mangrove tahun 1985, 1995, 2005, 2016, dan 2025 berdasarkan analisis geospasial pengolahan digital citra satelit Landsat dan Sentinel-2A
4. Mengkaji strategi rehabilitasi vegetasi mangrove berbasis dinamika spasio-temporal stok karbon atas permukaan dan analisis SWOT untuk restorasi ekologi mangrove berkelanjutan

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu:

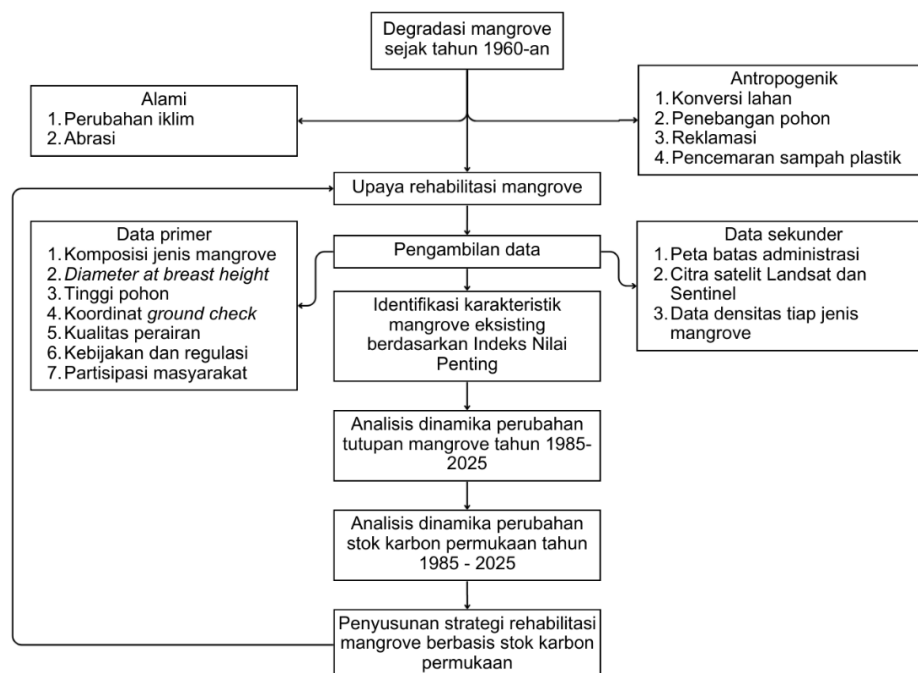
1. Kajian ini diharapkan dapat menjadi sumber informasi mengenai karakteristik vegetasi mangrove berdasarkan nilai penting, tutupan mangrove, estimasi stok karbon permukaan mangrove dalam perspektif

spasio-temporal kepada pemerintah daerah, peneliti, dan pemerhati lingkungan, serta masyarakat di Rembang

2. Kajian ini juga diharapkan dapat mendukung referensi kepada pemerintah daerah, peneliti, dan pemerhati lingkungan dalam strategi rehabilitasi mangrove yang berkelanjutan di Rembang

1.5. Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir pada Gambar 1.1. menggambarkan alur penelitian yang berfokus pada rehabilitasi mangrove akibat degradasi yang disebabkan oleh faktor alami maupun faktor antropogenik. Upaya rehabilitasi diawali dengan pengambilan data, yang terdiri dari data primer serta data sekunder. Data ini digunakan untuk mengkaji Indeks Nilai Penting vegetasi mangrove, kemudian dilakukan pemodelan stok karbon permukaan berdasarkan stok karbon permukaan lapangan dengan NDVI. Selanjutnya, dianalisis dinamika perubahan stok karbon atas permukaan dari tahun 1985 hingga 2025. Hasil analisis ini menjadi dasar penyusunan strategi rehabilitasi mangrove melalui analisis SWOT, sehingga menghasilkan rekomendasi yang tepat dan berbasis data.



Gambar 1.1. Kerangka berpikir

1.6. Penelitian Terdahulu

Secara umum, telah dilakukan sejumlah penelitian terkait dengan strategi rehabilitasi mangrove dan kajian stok karbon atas permukaan mangrove, khususnya di Rembang. Namun, diperlukan klarifikasi untuk menunjukkan adanya perbedaan penelitian ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya. Tabel 1.1. memperlihatkan tema-tema penelitian sebelumnya yang serupa dengan penelitian ini.

Tabel 1.1. Penelitian Terdahulu

No.	Judul Penelitian	Data dan Metode	Temuan Utama	Perbedaan dengan Riset ini	Referensi
1.	Estimasi Simpanan Karbon Pada Ekosistem Mangrove di Desa Pasar Banggi dan Tireman, Kecamatan Rembang, Kabupaten Rembang	Sampel lapangan purposive di 3 stasiun (rapat, sedang, jarang) di tiap Desa (Pasar Banggi, Tireman). Pada tiap stasiun dibuat 3 plot 10×10 m. Diukur semua pohon mangrove (DBH ≥5 cm) (metode non-destruktif dengan rumus alometrik) dan sampel sedimen dianalisis kandungan karbon organik.	Karbon tersimpan pada tegakan mangrove di Pasar Banggi 9.620,45 ton/ha, di Tireman 4.633,62 ton/ha. Karbon sedimen di Pasar Banggi 920,98 ton/ha, di Tireman 471,93 ton/ha. Karbon di tegakan jauh lebih besar daripada di sedimen.	Hanya pengukuran lapangan saat itu (2018) tanpa pemantauan perubahan spasio-temporal. Tidak menggunakan analisis citra satelit atau pemetaan dinamis. Fokus pada estimasi stok karbon statis, bukan strategi rehabilitasi atau SWOT.	Mardiyah, R., Ario, R., & Pribadi, R. (2019). <i>Estimasi simpanan karbon pada ekosistem mangrove di Desa Pasar Banggi dan Tireman, Kecamatan Rembang, Kabupaten Rembang</i> . Journal of Marine Research, 8(1), 62–68.
2.	Simpanan Karbon Pada Tegakan Vegetasi	Survei lapangan 6 plot 10×10 m mewakili 3 kelas kerapatan mangrove (jarang, sedang, rapat).	Total simpanan karbon tegakan di Pasar Banggi 4.001,37 tonC, dengan rata-rata 193,47 tonC/ha.	Hanya fokus snapshot satu waktu. Tidak menggunakan data penginderaan jauh atau	Rahmat, N., Pratikto, I., & Suryono, C. A. (2022). <i>Simpanan karbon pada tegakan</i>

No.	Judul Penelitian	Data dan Metode	Temuan Utama	Perbedaan dengan Riset ini	Referensi
	Mangrove di Desa Pasar Banggi, Rembang	Data: DBH, jenis mangrove, jumlah tegakan tiap plot. Perhitungan karbon berdasar rumus alometrik standar. Tidak menyertakan sedimen.	(Ragam kandungan karbon tergantung kepadatan mangrove)	analisis spasio-temporal. Fokus hanya kuantifikasi stok karbon statis. Bukan strategi rehabilitasi atau SWOT.	<i>vegetasi mangrove di Desa Pasar Banggi, Rembang</i> . Journal of Marine Research, 11(3), 506–512.
3.	Nilai Simpanan dan Harga Karbon Ekosistem Mangrove Desa Pasar Banggi, Rembang, Jawa Tengah	Survei lapangan di 3 stasiun di Pasar Banggi, tiap stasiun 3 plot. Menghitung biomassa tegakan mangrove (rumus alometrik) dan karbon sedimen (analisis <i>Loss-On-Ignition</i>). Metode deskriptif eksploratif.	Didapatkan karbon tegakan 74.987 ton/ha dan karbon sedimen 202,61 ton/ha (angka besar menunjukkan tingginya biomassa tegakan). Hasil ini juga diestimasi ke nilai ekonomi karbon.	Fokus pada jumlah karbon statis dan valuasi ekonomi, tanpa analisis perubahan spasio-temporal. Tidak ada pemetaan citra satelit jangka panjang. Lebih menitikberatkan data lapangan kuantitatif dan estimasi ekonomi, bukan strategi pemulihan berbasis dinamika.	Hidayah, F. N., Subagiyo, & Santoso, A. (2023). <i>Nilai simpanan dan harga karbon ekosistem mangrove Desa Pasar Banggi, Rembang, Jawa Tengah</i> . Journal of Marine Research, 12(2), 187–195.
4.	<i>The carbon stock potential of the restored mangrove ecosystem of Pasarbanggi, Rembang, Central Java</i>	Studi ekosistem mangrove terrehabilitasi Pasarbanggi dengan banyak plot. Diukur biomassa atas/bawah-tanah, sampel serasah dan sedimen (metode LOI). Analisis	Teridentifikasi 5 spesies true mangrove (dominasi <i>Rhizophora</i>). Diukur AGB, BGB, dan kandungan C dalam vegetasi dan sedimen. Total karbon ekosistem (TEC) berkisar 197,58–515,50 MgC/ha,	Lebih komprehensif, mencakup vegetasi dan sedimen, tetapi data hanya untuk titik waktu saat studi (tidak deret waktu). Fokus ekologi-restorasi; tidak mengevaluasi perubahan	Soeprbowati, T. R., Sularto, R. B., Hadiyanto, H., Puryono, S., Rahim, A., Jumari, J., & Gell, P. (2024). <i>The carbon stock potential of the</i>

No.	Judul Penelitian	Data dan Metode	Temuan Utama	Perbedaan dengan Riset ini	Referensi
		meliputi ANOVA, regresi linier.	dengan karbon sedimen (SOC) sebagai kontributor utama. Menunjukkan stok karbon yang sangat tinggi, yaitu $0,02 \times 10^6$ MgC.	stok karbon 1985–2025 secara spasial. Strategi rehabilitasi disinggung secara umum, tetapi tidak ada analisis SWOT.	<i>restored mangrove ecosystem of Pasarbanggi, Rembang, Central Java.</i> Marine Environmental Research, 193, 106257.
5.	Kajian Konservasi Ekosistem Mangrove Di Desa Pasar Banggi, Kabupaten Rembang	Deskriptif eksploratif dengan survei primer dan sekunder; analisis vegetasi serta analisis SWOT.	Kerapatan pohon 2700–3100 ind/ha (tanaman dewasa) dan sapling 933–2533 ind/ha; kualitas air sesuai untuk habitat mangrove; partisipasi masyarakat ~80% (rehabilitasi oleh swadaya). Analisis SWOT menyarankan prioritas penentuan zona konservasi dan peningkatan partisipasi stakeholder.	Penelitian ini tidak menilai stok karbon sama sekali maupun menggunakan citra satelit atau analisis spasial. Fokus kondisi saat studi (tidak ada dimensi temporal). Strategi menggunakan analisis SWOT.	Annas, N., Suryono, & Pribadi, R. (2013). <i>Kajian konservasi ekosistem mangrove di Desa Pasar Banggi, Kabupaten Rembang.</i> Journal of Marine Research, 2(2), 55–64.
6.	Kuantifikasi kandungan karbon pada hutan rehabilitasi	Sampling non-destruktif dengan zonasi berdasarkan tahun tanam (1970–1988, 1980–1990, 1990–2013); pengukuran DBH dan	Hasil: densitas karbon atas permukaan 138,99 ton C/ha; akar 66,06 ton C/ha; substrat lumpur 548,34 ton C/ha (total 753,39 ton	Mengukur kandungan karbon tapi data terbatas hingga 2013. Tidak ada pemodelan perubahan stok berdasarkan citra.	Aqila, N., & Haryono, E. (2017). <i>Kuantifikasi kandungan karbon pada hutan</i>

No.	Judul Penelitian	Data dan Metode	Temuan Utama	Perbedaan dengan Riset ini	Referensi
	mangrove Pasar Banggi, Rembang, Jawa Tengah	perhitungan biomassa alometrik (Komiyama <i>et al.</i> 2005); citra Google Earth 2017 untuk luas tahun tanam.	C/ha). Total stok karbon 2.235,82 ton C (214,41 ton C/ha); total CO ₂ ~2.764,93 ton/ha (nilai ekonomi ~Rp73,7 juta sejak 1970).	Tidak menyertakan analisis SWOT untuk rehabilitasi mangrove.	<i>rehabilitasi mangrove Pasar Banggi, Rembang, Jawa Tengah.</i> Jurnal Bumi Indonesia, 6(4), 1–10.
7.	<i>The Role of the Community in Utilizing Mangrove Forests for Addressing Coastal Erosion in Pasar Banggi Village, Rembang District, Rembang Regency</i>	Pendekatan kualitatif; data primer melalui observasi langsung, wawancara, dan dokumentasi.	Hasil menunjukkan masyarakat menerapkan berbagai upaya mitigasi abrasi pantai; hutan mangrove dimanfaatkan sebagai kawasan konservasi; dan peran signifikan masyarakat dalam rehabilitasi mangrove untuk mengurangi abrasi.	Fokus pada sosial-kemasyarakatan dan abrasi pantai tanpa data karbon. Tidak ada penggunaan citra satelit atau pemetaan spasial. Tidak ada analisis temporal, hanya kondisi saat studi.	Azzahid, H. W., Khumaeroh, S. D., Setyowati, D. L., & Hardati, P. (2024). <i>The role of the community in utilizing mangrove forests for addressing coastal erosion in Pasar Banggi Village, Rembang District, Rembang Regency.</i> International Journal of Research and Review, 11(12), 350–358.
8.	Analisis kondisi hutan mangrove dan	- Data primer: pengukuran DBH, klasifikasi citra Sentinel-2 (NDVI,	Mangrove di Pesawaran didominasi kondisi baik (99%) dengan serapan CO ₂	Fokus pada tahun tunggal (2023) tanpa dimensi temporal. Tidak ada	Adirama, A. Z., Dimas Permana, R., Alfajrin, A. C. A.,

No.	Judul Penelitian	Data dan Metode	Temuan Utama	Perbedaan dengan Riset ini	Referensi
	potensi serapan karbon menggunakan data sentinel-2 di Kabupaten Pesawaran	klasifikasi terbimbing), uji akurasi, alometrik - Data sekunder: citra Sentinel-2 tahun 2023 - Metode: estimasi biomassa, stok karbon, dan CO ₂ dari NDVI Metode: indeks nilai penting, analisis NDVI, uji akurasi, penghitungan biomassa atas permukaan, penghitungan karbon dari biomassa, penghitungan serapan CO ₂ , uji korelasi, nilai estimasi biomassa, cadangan karbon, dan serapan CO ₂	336.367,47 ton atau 591,75 ton CO ₂ /ha. Model estimasi karbon dari NDVI menghasilkan R ² = 0,76.	strategi rehabilitasi berbasis SWOT	Dwiputra, M. A., Widiya, N., Dakhi, S. V. S., & Fira Destina, W. (2024). Analysis of Mangrove Forest Condition and Carbon Absorption Potential Using Sentinel-2 Data in Pesawaran Regency. <i>Jurnal Hutan Tropis</i> , 12(3), 354–369.
9.	Estimasi Stok Karbon Mangrove Pasca Rehabilitasi di Desa Kaliwlingi, Brebes Menggunakan	- Data sekunder (vegetasi & lingkungan) dari KEHATI dan IKAMaT - Citra Sentinel-2 (2020) - Metode: regresi linier NDVI vs. stok karbon lapangan, klasifikasi citra, analisis allometrik spesies-	Stok karbon tidak meningkat secara linear terhadap umur tanam. Nilai NDVI tinggi namun R ² hanya 0,06 (hubungan sangat lemah) A. marina menghasilkan stok karbon lebih tinggi dari R. mucronata	Hanya mengestimasi stok karbon pasca rehabilitasi berdasarkan usia tanam dalam satu waktu (2020), tidak melihat dinamika historis. Tidak mengembangkan strategi rehabilitasi berbasis SWOT.	Albasit, L. Z., Pribadi, R., & Pramesti, R. (2022). Estimasi Stok Karbon Mangrove Pasca Rehabilitasi di Desa Kaliwlingi, Brebes Menggunakan Citra

No.	Judul Penelitian	Data dan Metode	Temuan Utama	Perbedaan dengan Riset ini	Referensi
	Citra Sentinel-2	spesifik, dan validasi citra (confusion matrix)			Sentinel-2. <i>Journal of Marine Research</i> , 11(4), 620–640.
10.	<i>Spatial and temporal study of estimating carbon stocks distribution of mangrove forest in coastal area of Teluknaga, Tangerang</i>	Analisis dinamika spasio-temporal biomassa/carbon stok mangrove Teluknaga (2016–2022) menggunakan indeks vegetasi dari citra Sentinel-2 (ARVI, EVI, SAVI). Pembentukan model statistik korelasi (indeks vs. biomassa lapangan) untuk tiap tahun. Dibandingkan perubahan dari 2016–2022.	Indeks ARVI terbukti berkorelasi terbaik ($R=0,60$) dalam memodelkan biomassa ($RMSE=36,67$ kg/piksel). Ditemukan sebagian besar hutan mangrove Teluknaga menunjukkan peningkatan biomassa dan stok karbon antar tahun 2016–2022. Pertumbuhan signifikan di wilayah Muara dan Lemo (sesuai dengan peningkatan tutupan dan kerapatan).	Meskipun menganalisis tren spasio-temporal, fokusnya di Tangerang, Banten, bukan Pasarbanggi dengan periode lebih pendek yaitu, 2016-2022. Menggunakan 3 indeks vegetasi, yaitu ARVI, EVI, SAVI. Tidak menyertakan upaya penyusunan strategi rehabilitasi berbasis SWOT.	Yumnaristya, S. H., Latif Indra, T., Supriatna, S., Tjiong, G. P., & Gracia, E. (2024). <i>Spatial and temporal study of estimating carbon stocks distribution of mangrove forest in coastal area of Teluknaga, Tangerang</i> . <i>Environmental and Materials</i> , 1(2), 49–64.
11.	<i>Mapping accumulated carbon storage of global mangroves from 2000 to</i>	Pembuatan peta karbon terkumulasi mangrove global (2000–2020) resolusi 1 km, memanfaatkan data tutupan mangrove Global Mangrove Watch terbaru.	Menghasilkan dataset global yang menangkap heterogenitas spasio-temporal karbon mangrove. Peta mengidentifikasi hotspot perubahan cadangan	Skala global dan agregat, tidak spesifik lokasi lokal. Strategi rehabilitasi tidak dibahas. Berguna sebagai konteks umum dinamika karbon mangrove dunia. Metode keilmuan berbeda	Wang, M., Zhang, T., Xie, Y., Zhang, Z., & Wu, X. (2025). <i>Mapping accumulated carbon storage of global mangroves from</i>

No.	Judul Penelitian	Data dan Metode	Temuan Utama	Perbedaan dengan Riset ini	Referensi
	<i>2020 at a 1 km resolution</i>	Menghitung <i>carbon sequestration</i> per piksel (gabungkan biomassa dan tanah) sepanjang dua dekade. Fokus pada pengolahan data citra global dan analisis spasio-temporal aglomerasi karbon.	karbon (akumulasi) di berbagai skala regional dan global, membantu menyoroti area krusial untuk konservasi atau restorasi.	(analisis data global), bukan survei lapangan lokal.	<i>2000 to 2020 at a 1 km resolution. Scientific Data, 12, 552.</i>
12.	<i>Strategic mangrove restoration increases carbon stock capacity</i>	Model spasial-eksplisit mikto-dinamik mangrove-mudflat (DFMFON) yang menggabungkan dinamika fisik (arus, sedimentasi) dan ekologi mangrove. Mensimulasikan skenario restorasi dengan konfigurasi penanaman mangrove yang berbeda secara spasial untuk mengoptimalkan penyerapan karbon (di biomassa atas/bawah tanah & sedimen).	Analisis awal menunjukkan bahwa konfigurasi restorasi yang mempertimbangkan posisi intertidal dan proses hidrodinamik dapat meningkatkan kapasitas stok karbon total. Studi ini mengilustrasikan pentingnya desain restorasi berbasis lokasi (dengan model dinamis) untuk memaksimalkan penyimpanan karbon mangrove.	Fokus pada optimasi spasial strategi penanaman (konfigurasi restorasi) menggunakan model hidrodinamika-ekologi yang kompleks. Cakupan luas tetapi konsep mirip (strategi spasio-temporal). Tidak mencakup analisis SWOT atau data penginderaan jauh.	Beselly, S. M., <i>et al.</i> (2025). <i>Strategic mangrove restoration increases carbon stock capacity. Communications Earth & Environment, 6, 422.</i>
13.	<i>Above-ground biomass</i>	Data: Sentinel-2A, Landsat-8	Model Sentinel-2 berbasis IPVI, DVI, SAVI dan band	Studi berfokus di Pantai Mong Cai, Vietnam.	Nguyen, H.-H., & Nguyen, T. T. H.

No.	Judul Penelitian	Data dan Metode	Temuan Utama	Perbedaan dengan Riset ini	Referensi
	<i>estimation models of mangrove forests based on remote sensing and field-surveyed data: Implications for C-PFES implementation in Quang Ninh Province, Vietnam</i>	PlanetScope (3 m), dan 50 plot lapangan (DBH, spesies, kerapatan, koordinat) di pesisir Mong Cai, Vietnam. Metode: Pre-processing (atmospheric correction, masking), NDVI thresholding, penghitungan indeks vegetasi (NDVI, SAVI, IPVI, dll.), regresi linier bertahap (stepwise), validasi dengan RMSE dan R ² .	8 menunjukkan akurasi tinggi dalam estimasi AGB (R ² hingga 0,988). Sentinel-2 lebih unggul dibandingkan Landsat-8 karena resolusi spasial lebih tinggi. AGB mapping dapat mendukung kebijakan C-PFES di Vietnam.	Hanya berfokus pada AGB tahun tunggal. Tidak menyusun strategi rehabilitasi SWOT	(2021). Above-ground biomass estimation models of mangrove forests based on remote sensing and field-surveyed data: Implications for C-PFES implementation in Quang Ninh Province, Vietnam. <i>Regional Studies in Marine Science</i> , 48, 101985.
14.	<i>Estimation and mapping of above-ground biomass of mangrove forests and their replacement land uses in the Philippines</i>	Data: Sentinel-1 SAR, Sentinel-2 multispektral (2015–2016), citra DEM SRTM, serta data lapangan 90 plot (DBH, jenis pohon, kerapatan, lokasi). Metode: Pre-processing SNAP, penghitungan indeks vegetasi (NDVI, IRECI, LAI, dll), regresi linier dan 17 algoritma	LAI dan IRECI dengan data elevasi memberikan korelasi terbaik dengan AGB (r = 0,84; RMSE ≈ 28 Mg/ha). - Model Sentinel-2 lebih akurat untuk area berhutan, sedangkan Sentinel-1 lebih baik untuk area terbuka atau non-vegetasi (bekas tambak, hutan gundul).	Hanya memodelkan AGB tahun 2015-2016 dan tidak menyusun strategi rehabilitasi.	Castillo, J. A. A., Apan, A. A., Maraseni, T. N., & Salmo, S. G. (2017). Estimation and mapping of above-ground biomass of mangrove forests and their replacement land uses in the

No.	Judul Penelitian	Data dan Metode	Temuan Utama	Perbedaan dengan Riset ini	Referensi
	<i>using Sentinel imagery</i>	machine learning (SMOreg, Random Forest, dll), validasi 90-fold cross-validation, serta pembuatan peta prediksi AGB.	- Pemetaan AGB bisa digunakan untuk baseline REDD+ dan pengelolaan pesisir.		Philippines using Sentinel imagery. <i>ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing</i> , 134, 70–85.
15.	<i>Community Structure and Potential Carbon Stock of Mangrove Forest in Malek Village, Paloh District, Sambas Regency, Indonesia</i>	Data: Citra Landsat 8 (2019–2021), plot lapangan (DBH, tinggi, anakan), tutupan kanopi (hemispherical photo), substrat, dan NDVI. Metode: Interpretasi visual Landsat, klasifikasi NDVI, estimasi AGB-BGB dengan persamaan allometrik (Dharmawan & Komiyama), konversi karbon, regresi linier NDVI–kanopi.	Luas mangrove 368,41 ha, dengan dominasi <i>Avicennia marina</i> dan <i>Bruguiera gymnorrhiza</i> . Stok karbon vegetasi berkisar 29,76–63,66 Mg C ha ⁻¹ . NDVI sangat berkorelasi dengan tutupan kanopi ($R^2 = 0,917$). Kondisi mangrove tergolong baik, dengan dominasi kategori 'padat' (63,25%).	Studi 2019-2021, tanpa analisis spasio-temporal jangka panjang. Tidak mengembangkan strategi rehabilitasi berbasis SWOT	Rafdinal, R., Linda, R., & Raynaldo, A. (2022). Community structure and potential carbon stock of mangrove forest in Malek Village, Paloh District, Sambas Regency, Indonesia. <i>Aquatic Science & Management</i> , 10(1), 16–22.