

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mangrove merupakan salah satu ekosistem pesisir yang memiliki kontribusi penting baik secara ekologis maupun ekonomis dalam mendukung keseimbangan lingkungan dan keberlanjutan kehidupan masyarakat pesisir. Keberadaan mangrove berperan sebagai habitat utama bagi berbagai organisme laut dan darat seperti ikan, kepiting, kerang, burung air, reptil seperti buaya, hingga berbagai mikroorganisme yang berperan dalam rantai makanan pesisir (Azizah, Alamsyah, Mutahharah, Akram, Nurhaliza, dan Maulana 2024). Struktur akar mangrove yang kompleks menyediakan tempat berlindung, tempat bertelur, serta area asuhan (*nursery ground*) bagi banyak spesies komersial penting, yang secara langsung mendukung produktivitas perikanan lokal. Fungsi ekologis lainnya adalah menjaga kualitas air melalui siklus nutrien, proses filtrasi alami terhadap sedimen dan polutan, serta memperbaiki kualitas perairan yang berdampak pada kesehatan ekosistem laut secara keseluruhan (Azizah *et al.*, 2024).

Mangrove juga memiliki kemampuan unik dalam memodifikasi lingkungan fisiknya. Kanopi vegetasi mangrove mengurangi kecepatan angin, sementara jaringan akar dan batangnya memperlambat laju aliran air, memungkinkan terjadinya sedimentasi alami dan pembentukan lahan baru. Fungsi ini sangat penting dalam mengurangi dampak abrasi pantai, mencegah intrusi air laut ke daratan, serta bertindak sebagai benteng alami terhadap gelombang badai, siklon tropis, dan tsunami, sehingga melindungi komunitas pesisir dari bencana alam (Azizah dkk., 2024). Dampak protektif ini telah dibuktikan dalam berbagai peristiwa ekstrem, seperti tsunami Samudra Hindia 2004, di mana wilayah dengan mangrove yang baik kondisinya mengalami kerusakan lebih ringan dibandingkan daerah tanpa perlindungan vegetasi pesisir.

Kontribusi mangrove terhadap mitigasi perubahan iklim juga sangat signifikan melalui perannya sebagai penyerap karbon biru (*blue carbon*). Secara

global, estimasi total stok karbon mangrove pada tahun 2012 mencapai sekitar 4,19 petagram karbon, yang sebagian besar tersimpan dalam tanah mangrove (sekitar 2,96 Pg) dan sisanya berada pada biomassa hidup di atas dan bawah permukaan (sekitar 1,23 Pg) (Azizah dkk., 2024). Penyimpanan karbon yang dominan di sedimen menjadikan mangrove sebagai ekosistem dengan potensi mitigasi karbon jangka panjang, karena karbon tersebut dapat tetap terperangkap selama ratusan hingga ribuan tahun apabila ekosistem tetap terjaga. Indonesia memegang sekitar 30% dari total luas mangrove dunia dan salah satu cadangan karbon terbesar di planet ini, sehingga keberadaan mangrove di wilayah ini memiliki nilai strategis global dalam upaya pengurangan emisi gas rumah kaca serta pencapaian target *Nationally Determined Contribution* (NDC) yang telah ditetapkan pemerintah (Azizah dkk., 2024).

Kerentanan mangrove terhadap degradasi menunjukkan tren peningkatan yang mengkhawatirkan di berbagai wilayah dunia. Laporan *International Union for Conservation of Nature* (IUCN) menegaskan bahwa sekitar 50% ekosistem mangrove global berada dalam kondisi terancam akibat kombinasi tekanan antropogenik dan faktor alami, termasuk konversi lahan besar-besaran, kenaikan muka air laut yang dipicu oleh pemanasan global, serta peristiwa cuaca ekstrem yang semakin sering terjadi (Reuters, 2024). Proyeksi IUCN menyebutkan bahwa tanpa adanya langkah perlindungan dan restorasi yang terarah, hingga 25% area mangrove dunia berpotensi tenggelam dalam kurun waktu 50 tahun mendatang, yang akan berdampak serius pada ekosistem pesisir dan komunitas yang bergantung padanya. Tekanan lingkungan ini tidak hanya mengancam keanekaragaman hayati, tetapi juga memicu hilangnya jasa ekosistem penting seperti perlindungan pantai, penyediaan habitat perikanan, dan penyerapan karbon dalam jangka panjang.

Indonesia, sebagai negara dengan luasan mangrove terbesar di dunia, menghadapi tantangan serupa dengan intensitas yang tinggi. Data terkini menunjukkan bahwa sekitar 40% luas mangrove nasional telah mengalami kehilangan dalam tiga dekade terakhir (Suriadi *et al.*, 2024). Penurunan ini sebagian besar disebabkan oleh konversi hutan mangrove menjadi tambak udang dan bandeng yang dilakukan secara masif sejak 1980-an, eksploitasi untuk kebutuhan

pertambangan pasir dan mineral di wilayah pesisir, serta perluasan infrastruktur industri di daerah delta dan estuari (*Climate change in Indonesia, 2025*). Dampak dari kehilangan ini bukan hanya berupa kerugian ekologis, tetapi juga implikasi sosial-ekonomi yang signifikan. Masyarakat pesisir yang bergantung pada hasil perikanan, kayu bakar, dan jasa ekosistem lainnya mengalami penurunan pendapatan, meningkatnya kerentanan terhadap abrasi dan banjir rob, serta kehilangan sumber daya yang menopang ketahanan pangan lokal. Kondisi ini turut memperbesar risiko emisi karbon ke atmosfer akibat pelepasan cadangan karbon yang sebelumnya tersimpan dalam biomassa dan sedimen mangrove, sehingga berkontribusi pada percepatan perubahan iklim global.

Masalah pengelolaan mangrove di berbagai wilayah semakin kompleks karena keterbatasan ketersediaan dan keterpaduan data lokal yang akurat serta mutakhir. Kondisi ini menyebabkan proses perencanaan konservasi seringkali tidak berbasis pada bukti ilmiah yang kuat, sehingga kebijakan yang diterapkan kurang tepat sasaran. Minimnya integrasi data spasial-temporal antar instansi juga menghambat koordinasi, membuat proses monitoring dan evaluasi program konservasi menjadi tidak optimal. Akibatnya, aksi restorasi yang dilakukan di beberapa daerah belum mampu mengimbangi laju degradasi yang terus terjadi, baik dari segi luasan maupun kualitas ekosistem yang dipulihkan.

Upaya konservasi untuk menanggulangi permasalahan ini telah digalakkan di berbagai tingkatan, mulai dari internasional hingga lokal. Restorasi mangrove dengan pendekatan *Community Based Mangrove Management (CBMM)* terbukti memiliki efektivitas tinggi, karena melibatkan pengetahuan tradisional, pengalaman lokal, serta partisipasi aktif masyarakat pesisir dalam setiap tahap kegiatan konservasi (Azizah, 2024). Model ini memungkinkan masyarakat berperan langsung dalam perencanaan, penanaman, pemeliharaan, hingga pengawasan, yang pada gilirannya meningkatkan ketahanan ekologis mangrove dan memperkuat basis ekonomi komunitas setempat. Partisipasi masyarakat juga membangun rasa memiliki (*sense of ownership*) terhadap ekosistem yang direstorasi, sehingga mengurangi potensi perusakan dan meningkatkan peluang keberlanjutan program dalam jangka panjang (Azizah, 2024).

Kebijakan reboisasi mangrove di beberapa wilayah pesisir Indonesia kini mulai mengintegrasikan dimensi sosial, ekologis, dan ekonomi secara bersamaan. Pendekatan holistik ini tidak hanya memprioritaskan pemulihan tutupan vegetasi, tetapi juga memastikan kebermanfaatan langsung bagi kesejahteraan masyarakat, misalnya melalui pengembangan ekowisata, perikanan berkelanjutan, dan pengolahan hasil hutan non-kayu (Utami dkk., 2024). Integrasi lintas sektor ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pemulihan ekosistem, memperkuat ketahanan pesisir terhadap bencana, serta mendukung pencapaian target konservasi dan mitigasi perubahan iklim secara simultan.

Pemanfaatan teknologi penginderaan jauh (remote sensing) yang terintegrasi dengan komputasi awan menawarkan solusi strategis untuk menghasilkan data spasial-temporal yang akurat, konsisten, dan berkelanjutan. Ketersediaan data yang dihasilkan secara periodik memungkinkan pemantauan dinamika ekosistem mangrove dengan interval waktu yang relatif singkat, sehingga perubahan yang terjadi dapat terdeteksi lebih dini. Sentinel-2A, yang merupakan bagian dari program Copernicus milik *European Space Agency* (ESA), menyediakan citra multispektral dengan resolusi spasial tinggi sekitar 10–20 meter, resolusi spektral yang mencakup 13 kanal, serta cakupan observasi global setiap lima hari. Karakteristik ini menjadikannya instrumen ideal untuk analisis vegetasi, termasuk perhitungan indeks seperti *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) untuk memantau kesehatan vegetasi dan *Normalized Difference Water Index* (NDWI) untuk mendeteksi kondisi kelembaban serta luasan area tergenang (Prayogo *et al.*, 2022).

Platform Google Earth Engine (GEE) berperan sebagai fasilitas komputasi berbasis cloud yang menyediakan akses langsung ke berbagai dataset citra satelit historis maupun terkini, termasuk Sentinel-2A, tanpa memerlukan infrastruktur perangkat keras berskala besar. Kemampuan pemrosesan paralel GEE memungkinkan analisis dataset berukuran terabyte dalam waktu relatif singkat, serta memudahkan replikasi metodologi secara global. Keunggulan ini membuat GEE dapat dimanfaatkan oleh peneliti, praktisi konservasi, maupun pembuat

kebijakan tanpa harus memiliki keahlian teknologi informasi tingkat lanjut (Prayogo, 2022; Prayogo, 2021).

Kombinasi Sentinel-2A dan GEE telah diaplikasikan secara luas dalam penelitian pemetaan distribusi dan kesehatan mangrove di berbagai wilayah tropis dan subtropis. Studi-studi tersebut membuktikan bahwa integrasi kedua teknologi ini mampu tidak hanya memetakan luasan mangrove dengan tingkat akurasi tinggi, tetapi juga mengestimasi stok karbon biru (blue carbon) melalui pemanfaatan indeks vegetasi tertentu yang dikorelasikan dengan biomassa (Prayogo, 2022; Ghosh, 2021). Keandalan metode ini memberikan keuntungan signifikan dari segi efisiensi waktu dan biaya, sehingga cocok digunakan dalam program pemantauan jangka panjang dan pengambilan keputusan berbasis bukti ilmiah.

Implementasi riset di wilayah pesisir Sukawali, Kabupaten Tangerang, memiliki urgensi tinggi mengingat daerah ini berada dalam tekanan signifikan akibat urbanisasi pesisir, konversi lahan, dan reklamasi yang terus berkembang. Aktivitas tersebut telah memicu degradasi habitat mangrove, penurunan keanekaragaman hayati, serta melemahkan fungsi ekologisnya sebagai benteng alami terhadap abrasi dan intrusi air laut (Utami dkk., 2024). Kondisi ini diperparah oleh minimnya sistem pemantauan lingkungan berbasis data jangka panjang, sehingga perubahan yang terjadi sering kali tidak terdeteksi hingga mencapai tahap yang sulit dipulihkan. Dalam konteks tersebut, pendekatan pemantauan berbasis teknologi remote sensing menjadi krusial untuk menyediakan bukti ilmiah yang komprehensif.

Penggunaan citra Sentinel-2A yang diintegrasikan dengan *platform Google Earth Engine* (GEE) memberikan peluang untuk memantau dinamika tutupan mangrove dengan interval waktu reguler, cakupan spasial luas, dan resolusi spasial yang memadai untuk analisis ekosistem skala lokal. Pemanfaatan kombinasi ini tidak hanya menghasilkan peta perubahan vegetasi mangrove dengan tingkat detail tinggi, tetapi juga memungkinkan estimasi kuantitatif potensi serapan karbon biru (blue carbon) yang tersimpan dalam biomassa mangrove (Prayogo, 2022; Ghosh dkk., 2021). Estimasi ini memiliki nilai strategis karena dapat digunakan untuk

menilai kontribusi ekosistem mangrove dalam mitigasi perubahan iklim, sesuai target penurunan emisi karbon nasional maupun global.

Hasil analisis spasial-temporal dari teknologi ini dapat berfungsi sebagai landasan ilmiah untuk perencanaan tata kelola wilayah pesisir berbasis data, mulai dari penentuan zona perlindungan, prioritas restorasi, hingga evaluasi efektivitas program konservasi yang telah berjalan. Selain itu, data tersebut dapat diintegrasikan ke dalam perumusan kebijakan mitigasi perubahan iklim di tingkat lokal, sehingga strategi adaptasi yang dihasilkan lebih tepat sasaran, efisien, dan selaras dengan kondisi biofisik setempat. Dengan demikian, riset ini tidak hanya memiliki relevansi akademis, tetapi juga memberikan kontribusi langsung terhadap penguatan kapasitas pengelolaan pesisir yang berkelanjutan di Sukawali.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana perubahan tutupan vegetasi mangrove di wilayah pesisir Sukawali, Kabupaten Tangerang, dalam periode pengamatan menggunakan citra Sentinel-2A Tahun 2022-2025?
2. Berapa estimasi potensi serapan karbon yang dimiliki oleh ekosistem mangrove di Sukawali, berdasarkan data indeks vegetasi dari citra Sentinel-2A?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis perubahan tutupan vegetasi mangrove di wilayah pesisir Sukawali, Kabupaten Tangerang, pada periode 2022–2025 menggunakan citra Sentinel-2A.
2. Mengestimasi potensi serapan karbon ekosistem mangrove di Sukawali berdasarkan hasil perhitungan indeks vegetasi dari citra Sentinel-2A.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan praktik pengelolaan lingkungan pesisir. Secara akademis, hasil penelitian ini dapat memperkaya kajian tentang

pemanfaatan teknologi penginderaan jauh, khususnya citra Sentinel-2A dan *Google Earth Engine*, dalam analisis perubahan vegetasi mangrove serta estimasi potensi serapan karbon. Secara praktis, informasi yang dihasilkan dapat menjadi dasar ilmiah bagi pemerintah daerah, lembaga konservasi, dan masyarakat lokal dalam merumuskan strategi pengelolaan serta konservasi mangrove yang lebih tepat sasaran, berbasis data, dan berkelanjutan. Selain itu, penelitian ini dapat mendukung upaya mitigasi perubahan iklim melalui pemeliharaan stok karbon biru di wilayah pesisir Sukawali, sehingga berkontribusi pada pencapaian target pembangunan berkelanjutan (*Sustainable Development Goals/SDGs*) di tingkat lokal maupun nasional.

1.5 Ruang Lingkup Peneliti

Ruang lingkup penelitian ini mencakup analisis perubahan tutupan vegetasi mangrove dan estimasi potensi serapan karbon di wilayah pesisir Sukawali, Kabupaten Tangerang, dengan periode pengamatan tahun 2022 hingga 2025. Data yang digunakan berasal dari citra satelit Sentinel-2A yang diolah melalui platform *Google Earth Engine*, dengan fokus pada pemanfaatan indeks vegetasi seperti NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) dan NDWI (*Normalized Difference Water Index*) untuk mendeteksi dinamika vegetasi mangrove. Penelitian ini hanya menitikberatkan pada aspek biofisik ekosistem mangrove, meliputi perubahan luasan vegetasi dan perhitungan potensi stok karbon, tanpa membahas secara mendalam faktor sosial-ekonomi masyarakat pesisir maupun aspek keanekaragaman hayati lainnya. Hasil penelitian diinterpretasikan dalam konteks pengelolaan dan konservasi mangrove di tingkat lokal, sehingga dapat menjadi rekomendasi awal untuk kebijakan berbasis data di wilayah pesisir Sukawali.