

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ekosistem Mangrove

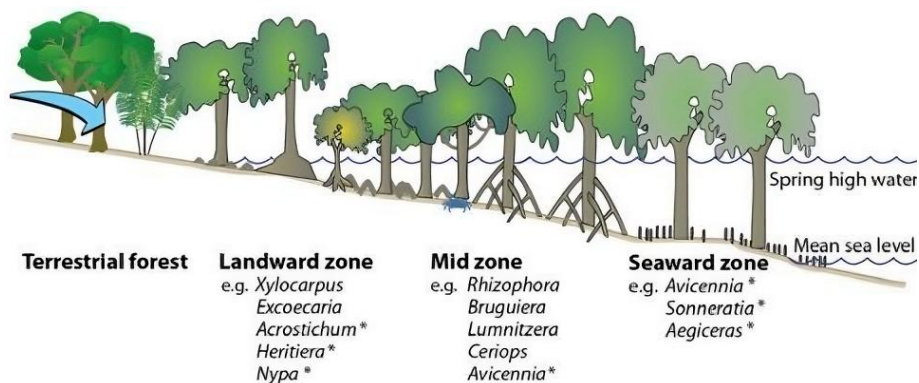
Ekosistem mangrove merupakan bagian dari ekosistem pesisir yang memiliki karakteristik khas karena tumbuh di wilayah pasang surut dengan salinitas yang berfluktuasi secara periodik. Ekosistem mangrove terbentuk melalui interaksi antara komponen biotik seperti vegetasi mangrove, fauna akuatik, burung, invertebrata, dan mikroorganisme dengan komponen abiotik seperti salinitas, pasang surut, jenis tanah, suhu, dan cahaya. Interaksi yang dinamis antara kedua komponen ini membentuk sistem ekologis yang stabil dan berfungsi penting dalam menjaga keseimbangan lingkungan pesisir (Alongi, 2014).

Mangrove memiliki fungsi ekologis penting melalui mekanisme yang khas. Sistem perakaran yang rapat membantu memperlambat aliran, menangkap sedimen, dan menstabilkan substrat, sehingga berkontribusi pada pengurangan erosi dan abrasi pantai. Pada saat yang sama, mangrove menyimpan karbon dalam biomassa hidup dan komponen bahan organik mati, termasuk kayu mati, serasah berkayu, dan akumulasi bahan organik di tanah. Kondisi tanah yang sering jenuh air dan miskin oksigen memperlambat dekomposisi, sehingga karbon dapat bertahan lebih lama dalam ekosistem (Donato *et al.*, 2011).

Ekosistem mangrove di Kepulauan Karimunjawa tersebar di beberapa pulau. Di antara pulau-pulau tersebut, Pulau Kemujan memiliki hamparan mangrove yang cukup luas. Luas ekosistem hutan mangrove di Pulau Kemujan mencapai 222,20 ha (Balai Taman Nasional Karimunjawa, 2022). Informasi ini sejalan dengan analisis citra Sentinel-2A yang menunjukkan tutupan hutan mangrove seluas 222,20 ha di

Pulau Kemujan, dengan sebaran pada beberapa subwilayah pesisir yakni Legon Besar, Legon Tengah, dan Legon Pinggir (Hapsari *et al.*, 2020).

Struktur komunitas mangrove tersusun dalam pola zonasi yang dipengaruhi oleh gradien lingkungan seperti frekuensi pasang surut, salinitas, serta tekstur tanah. Zonasi ini umumnya terbagi menjadi tiga bagian utama, yaitu *seaward zone* (zona depan), *mid zone* (zona tengah), dan *landward zone* (zona belakang). Zona depan, yang paling sering tergenang air laut, didominasi oleh jenis *Rhizophora apiculata* dan *Sonneratia alba* yang memiliki pneumatofor untuk beradaptasi dengan kondisi terendam. Zona tengah umumnya ditempati oleh *Avicennia marina* dan *Bruguiera gymnorrhiza* yang memiliki akar tunjang kuat untuk menahan gelombang, sementara zona belakang didominasi oleh *Lumnitzera racemosa* yang tumbuh di daerah dengan salinitas rendah dan genangan terbatas (Mughofar *et al.*, 2018). Perbedaan struktur vegetasi antar zona ini menunjukkan adanya stratifikasi ekologis yang mencerminkan variasi fungsi dan produktivitas ekosistem. Zonasi mangrove sesuai dengan **Gambar 1**.



Gambar 1. Zonasi Mangrove

Salah satu parameter dalam analisis struktur vegetasi mangrove adalah

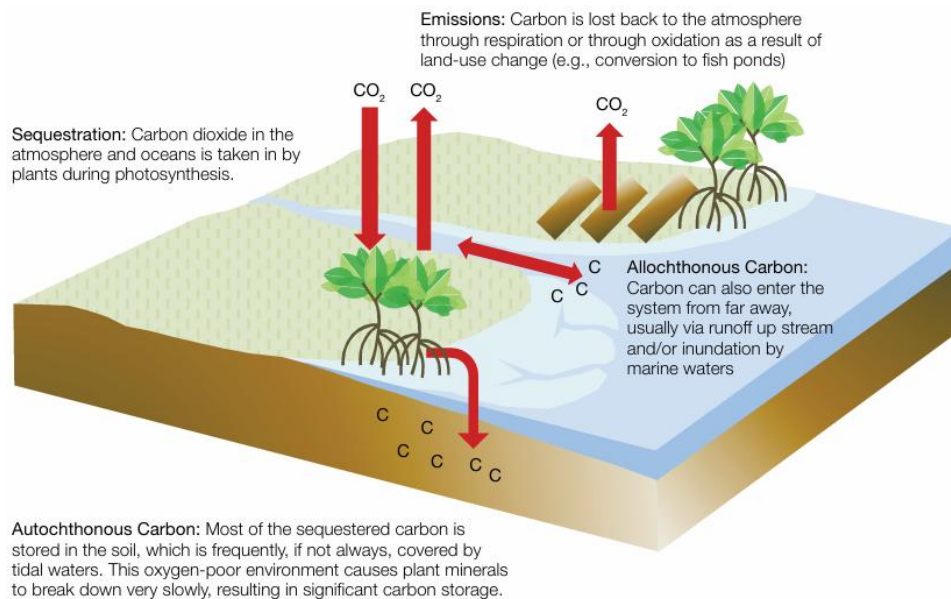
kerapatan. Kerapatan mangrove dihitung berdasarkan jumlah individu suatu jenis atau seluruh jenis dalam plot pengamatan, kemudian dikonversi ke dalam satuan luas, umumnya dalam satuab hektar. Dalam analisis vegetasi, parameter ini digunakan untuk membandingkan kondisi tegakan antar lokasi dan untuk melihat dominansi komunitas mangrove pada suatu kawasan. Klasifikasi kerapatan mangrove dapat mengacu pada Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 201 Tahun 2004 tentang Kriteria Baku dan Pedoman Penentuan Kerusakan Mangrove. Berdasarkan ketentuan tersebut, kerapatan mangrove dibedakan menjadi tiga kategori, yaitu sangat padat apabila kerapatan mencapai ≥ 1.500 individu/ha, padat apabila kerapatan berada pada kisaran 1.000 sampai 1.499 individu/ha, dan jarang apabila kerapatan < 1.000 individu/ha. Klasifikasi ini digunakan sebagai acuan dalam menilai kondisi tegakan mangrove pada lokasi penelitian.

Selain memiliki fungsi ekologis, ekosistem mangrove memberikan manfaat sosial ekonomi melalui dukungannya terhadap perikanan pesisir, penyediaan bahan baku, serta potensi pengembangan ekowisata. Namun, keberlanjutan fungsi tersebut dipengaruhi oleh tekanan aktivitas manusia, seperti konversi lahan, penebangan, pembangunan pesisir, dan pencemaran. Data yang dirilis melalui kanal resmi Kementerian Kelautan dan Perikanan dengan merujuk pada data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan tahun 2019 menunjukkan bahwa luas mangrove rusak mencapai sekitar 637.624,31 ha dengan sebaran kondisi kritis baik di dalam maupun di luar kawasan hutan (Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2021). Tekanan tersebut berpotensi menurunkan fungsi habitat, melemahkan perlindungan pantai, dan mengurangi kapasitas simpanan karbon pada tingkat ekosistem.

2.2 Karbon

Karbon merupakan unsur kimia esensial yang menyusun senyawa organik dan menjadi komponen utama pembentuk jaringan makhluk hidup. Keberadaan karbon di alam tidak bersifat tetap, melainkan terus berpindah dan berubah bentuk melalui siklus karbon. Siklus karbon merupakan rangkaian proses biogeokimia yang menghubungkan pertukaran karbon antarkompartemen utama sistem Bumi, yaitu atmosfer, biosfer, hidrosfer, dan geosfer, melalui jalur seperti fotosintesis, respirasi, dekomposisi, pelapukan batuan, serta pembakaran biomassa dan bahan bakar fosil (Schlesinger & Bernhardt, 2013). Keterkaitan antarkompartemen ini membentuk keseimbangan antara simpanan karbon (stok) dan perpindahan karbon (fluks) yang menentukan dinamika karbon pada skala lokal hingga global.

Di atmosfer, karbon dominan berada dalam bentuk karbon dioksida (CO_2). CO_2 dilepaskan melalui proses alami, antara lain respirasi organisme dan penguraian bahan organik, serta melalui aktivitas manusia yang meningkatkan masukan karbon ke atmosfer, terutama pembakaran bahan bakar fosil, deforestasi, dan perubahan penggunaan lahan (Lehmann & Kleber, 2015). Sebaliknya, organisme autotrof seperti tumbuhan, alga, dan fitoplankton menyerap CO_2 melalui fotosintesis dan mengubahnya menjadi senyawa organik. Senyawa organik tersebut kemudian disusun menjadi biomassa yang berfungsi sebagai cadangan karbon sekaligus sumber energi bagi organisme heterotrof dalam rantai makanan (Han & Li et al., 2021). Oleh karena itu, keseimbangan antara penyerapan CO_2 oleh fotosintesis dan pelepasan CO_2 melalui respirasi serta dekomposisi merupakan pengendali utama variasi CO_2 atmosfer. Alur pertukaran CO_2 tersebut disajikan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Mekanisme pelepasan karbon di atmosfer (Howard *et al.*, 2014)

Efisiensi penyerapan karbon di alam sangat bergantung pada keberadaan organisme autotrof dan sistem ekosistem yang berfungsi sebagai penyerap karbon (*carbon sink*). Ekosistem daratan seperti hutan tropis serta ekosistem pesisir seperti mangrove, padang lamun, dan rawa pasang surut memiliki kemampuan tinggi dalam mengikat dan menyimpan karbon. Karbon yang terserap disimpan dalam berbagai bentuk, termasuk jaringan vegetasi, serasah, nekromassa, dan sedimen. Dalam ekosistem pesisir, terutama mangrove, sedimen anaerobik memperlambat proses dekomposisi, sehingga karbon dapat tersimpan dalam jangka waktu yang sangat lama. Sebaliknya, karbon akan kembali ke atmosfer melalui respirasi, dekomposisi bahan organik, kebakaran, atau konversi lahan akibat aktivitas antropogenik (Schlesinger & Bernhardt, 2013). Hubungan dinamis antara penyerapan dan pelepasan karbon inilah yang menentukan apakah suatu ekosistem berperan sebagai penyerap atau sumber karbon (*carbon source*).

Emisi gas rumah kaca, terutama karbon dioksida, akibat aktivitas antropogenik telah menyebabkan ketidakseimbangan dalam siklus karbon global. Akumulasi CO₂ di atmosfer meningkatkan efek rumah kaca, yaitu mekanisme penyerapan dan pemantulan kembali radiasi panas oleh gas-gas seperti CO₂, metana (CH₄), dan dinitrogen oksida (N₂O). Proses ini menyebabkan peningkatan suhu rata-rata global atau pemanasan global (*Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, 2021). Pemanasan global berdampak luas terhadap sistem Bumi, termasuk perubahan pola iklim, peningkatan frekuensi kejadian cuaca ekstrem, kenaikan permukaan air laut, serta degradasi ekosistem alami. Perubahan ini mengancam fungsi ekologis berbagai ekosistem, termasuk kemampuan mereka dalam menyerap dan menyimpan karbon.

Untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, ekosistem alami seperti hutan, lahan gambut, mangrove, dan padang lamun berperan sebagai penyerap karbon (*carbon sink*) yang sangat efektif. Ekosistem ini mampu menyerap dan menyimpan karbon dalam jumlah besar, baik dalam bentuk biomassa maupun sedimen, sehingga mengurangi konsentrasi CO₂ di atmosfer dan membantu memperlambat perubahan iklim (Dai *et al.*, 2023). Namun, kerusakan dan konversi ekosistem alami dapat melepaskan kembali karbon yang telah tersimpan selama ratusan hingga ribuan tahun ke atmosfer, memperburuk efek rumah kaca dan mempercepat pemanasan global. Oleh karena itu, pengelolaan siklus karbon secara berkelanjutan, pengurangan emisi CO₂, serta peningkatan kapasitas penyerapan karbon oleh ekosistem alami menjadi sangat penting dalam upaya mitigasi perubahan iklim dan perlindungan lingkungan global (Schlesinger & Bernhardt, 2013).

2.3 Cadangan Karbon

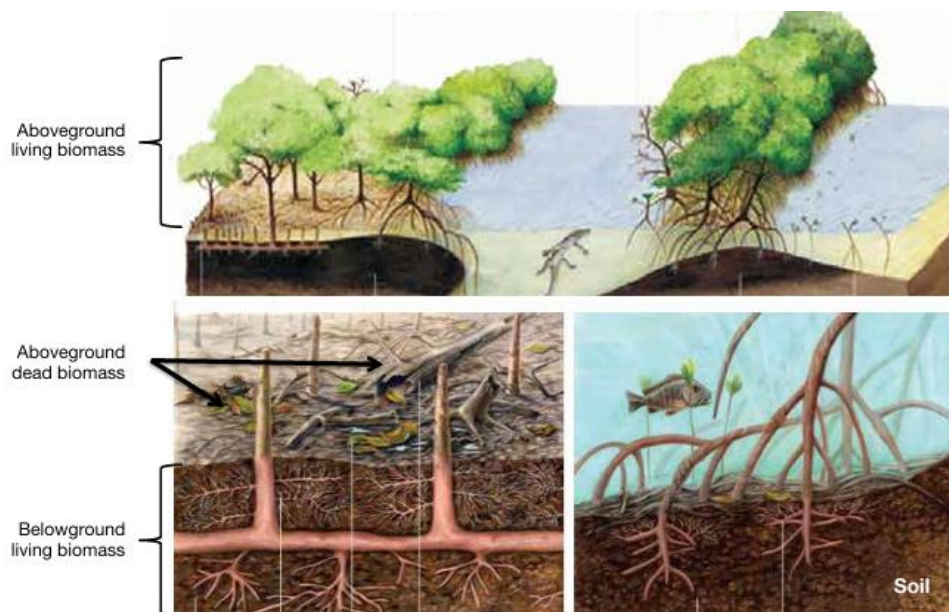
Cadangan karbon merupakan akumulasi unsur karbon yang tersimpan dalam berbagai komponen ekosistem, meliputi biomassa hidup seperti daun, batang, ranting, dan akar, serta nekromassa berupa serasah dan pohon mati, juga pada sedimen dan tanah. Proses terbentuknya cadangan karbon diawali dengan penyerapan karbon dioksida (CO₂) dari atmosfer melalui proses fotosintesis oleh tumbuhan autotrof. Dalam proses ini, CO₂ diubah menjadi senyawa organik yang membentuk jaringan tumbuhan, kemudian didistribusikan ke seluruh bagian tanaman. Karbon yang telah terikat dalam biomassa vegetasi akan terus meningkat seiring dengan pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Sebagian karbon berpindah ke tanah melalui guguran daun, ranting, dan akar, serta melalui kematian pohon yang membentuk lapisan nekromassa dan serasah. Dalam ekosistem hutan, termasuk hutan mangrove, sebagian besar karbon tersimpan dalam biomassa pohon dan sedimen. Kondisi anaerobik pada sedimen mangrove memperlambat proses dekomposisi, sehingga karbon dapat tersimpan dalam jangka waktu yang sangat panjang, mencapai ratusan hingga ribuan tahun (Donato *et al.*, 2012).

Penelitian oleh Sasmito *et al.* (2020) menunjukkan bahwa ekosistem mangrove memiliki kapasitas penyimpanan karbon yang jauh lebih besar dibandingkan hutan daratan yaitu dapat menyimpan total cadangan karbon mencapai 1.087 ± 584 Mg C/ha, tergantung pada kondisi hidrologi, struktur vegetasi, dan tingkat gangguan ekosistem. Karbon tersimpan dalam berbagai komponen ekosistem, terutama pada biomassa atas permukaan seperti batang, daun, dan cabang, serta biomassa bawah permukaan berupa akar dan sedimen yang kaya bahan organik. Rata-rata cadangan

karbon di atas permukaan berkisar antara 12,0 hingga 150,2 Mg C/ha, sedangkan di bawah permukaan nilainya lebih besar karena sifat tanah anaerobik yang memperlambat dekomposisi dan meningkatkan stabilitas karbon (Meng *et al.*, 2021). Hutan dengan struktur vegetasi beragam dan tegakan pohon berumur panjang memiliki kemampuan penyimpanan karbon yang lebih tinggi dibandingkan kawasan yang telah mengalami degradasi. Faktor-faktor seperti kerapatan tegakan, jenis mangrove, kedalaman tanah, dan gangguan antropogenik seperti deforestasi dan konversi lahan berpengaruh besar terhadap besarnya cadangan karbon yang tersimpan di ekosistem mangrove.

Cadangan karbon dalam ekosistem berfungsi sebagai sumber (*source*) maupun serapan (*sink*) karbon tergantung pada kondisi dan stabilitas lingkungannya. Proses penyimpanan karbon sesuai dengan **Gambar 3**. Ketika vegetasi mangrove terganggu akibat deforestasi, konversi lahan, atau aktivitas antropogenik lainnya, karbon yang sebelumnya tersimpan dalam biomassa dan sedimen dapat terlepas kembali ke atmosfer dalam bentuk emisi karbon dioksida (CO₂), sehingga meningkatkan konsentrasi gas rumah kaca dan mempercepat pemanasan global (Alongi, 2014). Proses degradasi tersebut umumnya diakibatkan oleh perubahan tata guna lahan, penebangan pohon, pembangunan infrastruktur pesisir, serta penurunan kualitas sedimen yang mengganggu keseimbangan biogeokimia ekosistem mangrove (Murdiyarso *et al.*, 2015). Sebaliknya, kegiatan rehabilitasi hutan dan restorasi ekosistem mampu meningkatkan cadangan karbon melalui peningkatan biomassa vegetasi, pemulihan struktur komunitas tumbuhan, serta perbaikan karakteristik fisik dan kimia tanah yang mempercepat penyerapan dan penyimpanan

karbon (Sasmito *et al.*, 2020). Upaya tersebut tidak hanya berkontribusi terhadap mitigasi perubahan iklim, tetapi juga memperkuat fungsi ekologis mangrove sebagai pelindung alami kawasan pesisir dan penopang keanekaragaman hayati (Alongi & Mukhopadhyay, 2015).



Gambar 3. Penyimpanan karbon pada ekosistem mangrove (Howard *et al.*, 2014)

2.4 Biomassa Mangrove

Biomassa mangrove didefinisikan sebagai keseluruhan massa organik hidup yang berada di atas permukaan tanah, meliputi komponen-komponen seperti akar, batang, ranting, dan daun yang secara kolektif berfungsi sebagai penyimpan utama karbon dalam ekosistem tersebut. Biomassa ini berperan sebagai “rosot karbon” (*carbon sink*) yang efektif karena mangrove mampu menyerap dan menyimpan karbon dalam jumlah besar melalui proses fotosintesis, di mana karbon dioksida (CO_2) dari atmosfer diubah menjadi senyawa organik dan disimpan dalam jaringan

tumbuhan (Alviana *et al.*, 2023). Menurut Alongi (2014), hutan mangrove dapat menyimpan karbon hingga empat kali lebih banyak per hektar dibandingkan hutan tropis daratan, dengan kandungan karbon terbesar terdapat pada batang dan akar, serta sebagian besar karbon juga terakumulasi dalam sedimen akibat dekomposisi serasah dan bahan organik mati.

Pengukuran biomassa mangrove di lapangan umumnya dilakukan dengan pendekatan non destruktif. Pendekatan ini mengandalkan pengukuran parameter tegakan yang mudah diamati, terutama diameter batang setinggi dada atau diameter at breast height (DBH). Nilai DBH kemudian digunakan dalam persamaan alometrik untuk mengestimasi biomassa atas permukaan. Persamaan alometrik dikembangkan dari hubungan empiris antara ukuran pohon dan massa keringnya, sehingga memungkinkan penaksiran biomassa tanpa penebangan pohon. Agar hasil estimasi lebih representatif, pemilihan persamaan alometrik perlu disesuaikan dengan jenis mangrove dan karakter lokasi, karena perbedaan jenis mangrove dan kondisi tumbuh dapat memengaruhi bentuk batang dan pola percabangan (Alviana *et al.*, 2023).

Faktor-faktor yang memengaruhi besarnya biomassa dan kandungan karbon pada ekosistem mangrove antara lain jenis dan umur pohon, kerapatan tegakan, kesuburan tanah, serta tingkat gangguan antropogenik. Semakin besar biomassa pohon, maka semakin besar pula karbon yang mampu diserap dan disimpan. Oleh karena itu, ekosistem mangrove sangat penting dalam upaya mitigasi perubahan iklim global, karena kemampuannya dalam mengurangi konsentrasi CO₂ di atmosfer secara efisien dan berkelanjutan (Alongi, 2014).

Berbagai penelitian di Indonesia mengenai parameter biomassa sebagai

indikator utama fungsi ekosistem mangrove dalam menyimpan karbon. Studi oleh Wirasatriya *et al.* (2022) di kawasan Karimun Jawa – Kemujan mengestimasi biomassa mangrove berkisar antara 8 - 328 Mg/ha dengan stok karbon atas tanah mencapai 4 - 164 MgC/ha berdasarkan pengukuran lapangan dan penerapan persamaan alometrik regional. Penelitian lain oleh Kristiyanto *et al.* (2022) di Desa Sungai Kupah, Kabupaten Kubu Raya, menunjukkan biomassa sebesar 273,98 ton per ha dan cadangan karbon sebesar 136,99 ton karbon per ha. Sementara itu, Hayati *et al.* (2023) di Kabupaten Jepara menemukan kemampuan penyerapan karbon tertinggi mencapai 397,21 ton per ha pada jenis *Rhizophora mucronata* di kawasan rehabilitasi mangrove.

2.5 Nekromassa Mangrove

Nekromassa merupakan komponen dalam ekosistem mangrove yang terdiri atas bahan organik mati, meliputi pohon mangrove yang telah mati dalam posisi berdiri maupun rebah serta ranting, cabang, akar, dan seresah yang belum terdekomposisi sempurna. Komponen ini berperan sebagai cadangan karbon jangka panjang karena menyimpan karbon dalam bentuk bahan organik yang masih utuh sehingga memperlambat pelepasan karbon ke atmosfer (Donato *et al.*, 2012). Nekromassa tidak hanya mencakup kayu mati berukuran besar, tetapi juga seresah kasar dan halus seperti daun dan ranting kecil yang turut memberikan kontribusi terhadap total stok karbon ekosistem mangrove (Alongi, 2012).

Pengukuran nekromassa berkayu umumnya dilakukan dengan pendekatan volumetrik yaitu mengestimasi volume kayu mati berdasarkan pengukuran dimensi, misalnya diameter dan panjang untuk kayu rebah, serta diameter dan tinggi untuk

kayu mati yang masih berdiri. Estimasi volume kemudian dikonversi menjadi massa kering dengan memanfaatkan berat jenis kayu digunakan dalam pengelompokan tingkat pelapukan. Untuk memperoleh nilai massa kering yang akurat, sampel kayu dapat dikeringkan dalam oven pada suhu tertentu hingga mencapai berat konstan (Hairiah & Rahayu, 2007). Pada nekromassa tidak berkayu, terutama serasah daun dan ranting kecil, pengambilan sampel lazim dilakukan dengan metode kuadran. Seluruh bahan organik mati dalam luasan tertentu dikumpulkan, ditimbang, lalu dikeringkan untuk mendapatkan berat kering. Kandungan karbon selanjutnya dihitung dari berat kering dengan menggunakan fraksi karbon, yang pada banyak kajian berada pada kisaran 0,45–0,50 dari berat kering (Martin & Thomas, 2011).

Besarnya kandungan nekromassa di suatu ekosistem mangrove sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan, tingkat gangguan antropogenik, serta dinamika pertumbuhan dan kematian pohon. Kawasan mangrove yang mengalami eksploitasi tinggi, seperti pengambilan kayu bakar atau penebangan liar, cenderung memiliki jumlah nekromassa lebih rendah dibandingkan kawasan yang terlindungi. Selain itu, arus pasang surut dan aktivitas gelombang turut memengaruhi distribusi dan akumulasi nekromassa, yang menyebabkan perbedaan spasial antar lokasi (Alongi, 2012).

Nekromassa memberikan kontribusi signifikan terhadap total stok karbon ekosistem mangrove. Penelitian oleh Kusuma *et al.* (2023) menemukan bahwa serapan karbon dari nekromassa berkisar antara 0,14 hingga 0,36 kg C/m² dengan stok karbon sebesar 0,001 - 0,003 ton C/ha. Karakteristik serapan karbon tertinggi umumnya memiliki jumlah pohon mati, volume, dan berat jenis kayu yang lebih

besar. Faktor-faktor seperti salinitas, pasang surut air laut, dan gangguan manusia menjadi penyebab utama variasi kandungan nekromassa.

2.6 Metode Alometrik

Metode alometrik merupakan suatu pendekatan matematis yang digunakan untuk mengestimasi biomassa vegetasi secara non-destruktif, yaitu tanpa merusak sampel fisik pohon di lapangan. Prinsip utama metode ini adalah mengorelasikan parameter morfometrik vegetasi, seperti diameter batang pada ketinggian dada (*diameter at breast height/DBH*), tinggi pohon, dan berat jenis kayu, dengan biomassa aktual yang telah diukur dari sampel representatif (Mulyana *et al.*, 2021). Berbagai model persamaan alometrik telah dikembangkan dan diadaptasi khusus untuk ekosistem mangrove melalui serangkaian penelitian lapangan, kalibrasi data empiris, serta analisis statistik, sehingga menghasilkan estimasi biomassa yang akurat dan terperinci untuk berbagai jenis mangrove dan tahapan pertumbuhan, mulai dari semai, pancang, hingga pohon dewasa (Hamidi *et al.*, 2018).

Penyesuaian model terhadap kondisi lokal menjadi aspek penting dalam penerapan metode alometrik. Jenis mangrove memiliki arsitektur tajuk, bentuk batang, dan sifat kayu yang berbeda, serta merespons kondisi lingkungan secara bervariasi. Perbedaan ini dapat memengaruhi hubungan antara DBH, tinggi, dan biomassa. Oleh sebab itu, penggunaan persamaan yang sesuai dengan jenis dan lokasi, atau persamaan yang telah teruji pada kondisi yang sebanding, diperlukan agar hasil estimasi biomassa dan kandungan karbon lebih representatif. Secara umum, bentuk persamaan alometrik dapat berupa persamaan pangkat (power), logaritmik, linier, atau eksponensial, dengan prediktor utama berupa DBH, tinggi

pohon, dan berat jenis kayu (Komiya *et al.*, 2005).

Penggunaan persamaan alometrik yang tepat berperan penting dalam menghasilkan estimasi biomassa yang dapat dipertanggungjawabkan, terutama untuk pemetaan cadangan karbon dan pengelolaan mangrove. Metode ini juga mendukung pemantauan perubahan biomassa dari waktu ke waktu, misalnya akibat gangguan, rehabilitasi, atau perubahan tutupan lahan, sehingga dapat digunakan sebagai dasar evaluasi pengelolaan ekosistem mangrove pada skala tapak maupun kawasan (Hamidi *et al.*, 2018). Dengan pertimbangan tersebut, metode alometrik menjadi salah satu standar yang paling banyak digunakan dalam penelitian biomassa dan karbon mangrove, baik untuk kepentingan akademik maupun kebutuhan inventarisasi karbon.

2.7 Metode Volumetrik

Metode volumetrik merupakan pendekatan yang digunakan untuk mengestimasi nekromassa mangrove berdasarkan volume kayu mati, kemudian dikonversi menjadi biomassa kering dengan menggunakan nilai berat jenis kayu. Pada ekosistem mangrove, metode volumetrik umumnya diterapkan pada komponen nekromassa berkayu, seperti batang mati berdiri, batang rebah, cabang, tunggak, dan serpihan kayu berukuran besar. Pendekatan ini banyak digunakan dalam kajian karbon karena mampu menggambarkan besarnya cadangan nekromassa tanpa harus merusak seluruh material kayu mati di lapangan (Adame *et al.*, 2022).

Prinsip utama metode volumetrik adalah menghitung volume nekromassa dari parameter dimensi, seperti diameter, panjang, atau tinggi sisa batang, lalu mengalikannya dengan berat jenis kayu untuk memperoleh biomassa. Pada kayu

mati berdiri, pengukuran biasanya dilakukan terhadap diameter dan tinggi batang yang tersisa. Pada kayu mati rebah, pengukuran dilakukan terhadap panjang dan diameter potongan kayu. Dalam praktiknya, bentuk nekromassa sering diasumsikan menyerupai silinder atau frustum agar volume dapat dihitung secara sistematis dan konsisten (Kauffman dan Donato, 2012).

Penerapan metode volumetrik pada nekromassa mangrove perlu memperhatikan tingkat dekomposisi kayu, karena pelapukan dapat menurunkan kerapatan atau berat jenis kayu dan akhirnya memengaruhi estimasi biomassa serta karbon. Oleh sebab itu, penggunaan nilai berat jenis yang sesuai dengan kelas pelapukan dan jenis kayu sangat penting agar hasil perhitungan lebih representatif. Variasi berat jenis kayu juga diketahui menjadi faktor penting dalam estimasi biomassa dan karbon pada ekosistem mangrove, sehingga pemilihan parameter ini tidak dapat diabaikan (Chowdhury *et al.*, 2025).

2.8 Kondisi Geografis Pulau Kemujan

Pulau Kemujan merupakan salah satu pulau utama di gugusan Kepulauan Karimunjawa yang terletak di tengah Laut Jawa. Pulau ini memiliki kondisi ekologis yang relatif terjaga dengan tingkat konservasi yang lebih baik dibandingkan wilayah sekitarnya. Secara geografis, Pulau Kemujan memiliki substrat berlumpur yang kaya bahan organik, arus muara yang lemah, serta kondisi fisik yang stabil. Faktor-faktor tersebut menjadikan habitat yang ideal bagi pertumbuhan dan regenerasi vegetasi mangrove, terutama jenis *Rhizophora* sp., *Avicennia* sp., dan *Sonneratia* sp. (Rahmandhana *et al.*, 2022). Sebaran ekosistem mangrove di Pulau Kemujan meliputi beberapa lokasi utama seperti Legon Besar, Legon Tengah, dan Legon

Pinggir.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa Pulau Kemujan memiliki tingkat keanekaragaman jenis mangrove yang tergolong sedang dengan sedikitnya 19 jenis yang telah teridentifikasi, termasuk satu jenis langka dunia yaitu *Schyphiphora hydrophillacea* (Ulyah *et al.*, 2022). Menurut Ulyah *et al.* (2022), struktur komunitas vegetasinya menunjukkan pola zonasi yang jelas dengan *Rhizophora stylosa* sebagai jenis dominan pada strata pohon, pancang, dan semai. Di dalam penelitian oleh Ulyah *et al.* (2022), nilai kerapatan *Rhizophora stylosa* berkisar antara 2.500 hingga 10.100 individu per hektare untuk pohon dewasa, serta mencapai 280.000 individu per hektare pada tingkat semai. Selain itu, Ulyah *et al.* (2022) juga menyatakan bahwa faktor lingkungan di sekitar kawasan mangrove memiliki suhu rata-rata 28,75°C; salinitas 26,6%; pH 7,26; kandungan karbon organik tanah 2,10%; dan kadar oksigen terlarut 3,28 mg/L. Parameter tersebut mencerminkan kondisi habitat yang ideal bagi pertumbuhan dan produktivitas mangrove.

Selain memiliki keanekaragaman vegetasi yang cukup tinggi, Pulau Kemujan juga diketahui memiliki stok karbon yang besar pada berbagai komponen ekosistem, meliputi biomassa hidup, nekromassa, dan sedimen. Kandungan karbon tersebut memberikan kontribusi penting dalam mitigasi perubahan iklim, baik pada skala regional maupun global (Cahyaningrum *et al.*, 2014). Aktivitas rehabilitasi dan konservasi, seperti penanaman kembali di area bekas tambak dan perlindungan kawasan inti, semakin memperkuat fungsi ekologis Pulau Kemujan sebagai kawasan penyerap karbon sekaligus penyangga ekosistem pesisir Karimunjawa.