

BAB II

KAJIAN TEORI DAN KERANGKA BERPIKIR

A. Kajian Teori

Kajian teori memuat uraian teoritis yang berfokus pada teori, konsep, kebijakan, dan peraturan yang relevan serta didukung oleh hasil penelitian terdahulu sesuai dengan permasalahan penelitian. Melalui kajian teori, peneliti merumuskan definisi konsep dan menyusun kerangka pemikiran yang menjelaskan keterkaitan antar variabel dalam penelitian, sehingga menggambarkan alur pemikiran peneliti dalam mengkaji dan memecahkan permasalahan yang diteliti. Beberapa teori yang dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Ekosistem Hutan dan Taman Kehati

Ekosistem hutan merupakan sistem alami yang tersusun atas komponen biotik dan abiotik yang saling berinteraksi secara dinamis. Komponen biotik hutan terdiri atas tumbuhan, satwa, mikroorganisme, dan manusia sedangkan komponen abiotik hutan meliputi tanah, air, udara, cahaya, suhu, dan unsur hara. Interaksi yang terjadi pada seluruh komponen tersebut membentuk proses ekologis seperti aliran energi, daur hara, suksesi vegetasi, dan penyimpanan karbon (Ng dkk., 2021).

Fungsi ekologis utama ekosistem hutan adalah perannya dalam siklus karbon yaitu siklus biogeokimia dimana karbon dipertukarkan antara biosfer, pedosfer, dan atmosfer bumi. Dalam kondisi yang seimbang karbon yang dilepaskan ke atmosfer akan diserap kembali oleh penyerap karbon alami yang merupakan peran penting suatu ekosistem hutan dan vegetasi. Tumbuhan melalui proses fotosintesis mengambil CO₂ dari atmosfer dan mengubahnya menjadi senyawa organik yang disimpan dalam bentuk biomassa. Namun gangguan antropogenik seperti deforestasi mengacaukan keseimbangan ini, sehingga menyebabkan akumulasi karbon dioksida di atmosfer yang memicu perubahan iklim global, pergeseran pola

curah hujan, hingga peningkatan frekuensi cuaca ekstrem (Febriani Irma dkk., 2024).

Fenomena ini berkaitan erat dengan efek rumah kaca. Gas rumah kaca merupakan sekumpulan komponen gas di atmosfer yang memiliki kemampuan selektif untuk menyerap radiasi gelombang panjang (inframerah) yang dipancarkan oleh permukaan bumi, kemudian memancarkannya kembali ke segala arah. Fenomena ini dikenal sebagai efek rumah kaca, yang merupakan proses alami yang sebenarnya berfungsi menjaga suhu bumi agar tetap hangat dan layak huni. Namun, peningkatan konsentrasi gas rumah kaca secara drastis akibat aktivitas antropogenik telah menyebabkan penumpukan panas yang berlebih di atmosfer (Fresilia, 2024). Diantara berbagai jenis gas rumah kaca seperti metana (CH_4), dinitrogen oksida (N_2O) dan lain sebagainya, karbon dioksida (CO_2) merupakan komponen yang paling krusial karena volumenya yang sangat besar dan masa tinggalnya yang lama di atmosfer. Peningkatan emisi CO_2 ini utamanya bersumber dari pembakaran bahan bakar fosil, emisi industri, serta perubahan penggunaan lahan seperti deforestasi yang mengurangi kemampuan alam dalam menyerap karbon (BMKG, 2022).

Taman Kehati atau Taman Keanekaragaman Hayati merupakan kawasan ekosistem hutan yang memiliki peran ekologis dan dirancang untuk melindungi, mengembangkan, dan memanfaatkan keanekaragaman hayati lokal secara berkelanjutan. Taman Kehati pada umumnya memiliki fungsi konservasi, edukasi, penelitian, dan rehabilitasi lingkungan sehingga tidak hanya berperan dalam pelestarian biodiversitas tetapi juga dalam mendukung kestabilan ekosistem seperti mitigasi perubahan iklim dalam suatu wilayah.

Peran Taman Kehati secara strategis dalam konteks perubahan iklim dinilai mampu menyerap dan menyimpan karbon dalam jumlah tertentu karena keberadaan vegetasi di dalamnya. Vegetasi hutan dan tegakan pohon bukan sekadar elemen estetika lahan, melainkan infrastruktur hijau yang bekerja aktif memitigasi perubahan iklim dengan cara mengisolasi karbon dari atmosfer dalam jangka waktu yang lama. Studi pada Taman Kehati PT Chandra Asri Cilegon menunjukkan

bahwa kawasan kehati dapat menyimpan karbon dan mendukung fungsi ekologis suatu area sebagai penyangga emisi (Marianingsih dkk., 2023). Oleh karena itu, estimasi cadangan karbon pada tegakan pohon eksisting menjadi data ilmiah yang sangat mendesak. Data ini memberikan gambaran kuantitatif mengenai kapasitas serapan karbon di tingkat lokal yang pada gilirannya dapat dijadikan dasar kebijakan pengelolaan lingkungan di Taman Kehati Nagrog maupun perencanaan mitigasi perubahan iklim yang lebih luas di Kabupaten Bandung (Sukmawati & Tarmizi, 2022).

2. Struktur Tegakan Pohon

Tegakan pohon merupakan unit analisis dasar dalam ekologi hutan yang mencerminkan interaksi antara jenis vegetasi dan lingkungannya. Secara definisi tegakan adalah sekumpulan pohon yang menempati area tertentu dengan karakteristik struktur, komposisi jenis, dan kondisi kesehatan yang cukup beragam untuk dibedakan dari area (Syukur, 2020). Keberadaan tegakan baik yang terbentuk secara alami maupun melalui program rehabilitasi seperti kawasan Taman Kehati, dapat menjadi indikator keberhasilan fungsi ekologis lahan dalam menyediakan jasa lingkungan, termasuk penyerap karbon.

Struktur tegakan pohon merupakan gambaran sebaran individu pohon menurut dimensi diameter dan tinggi serta posisi tajuk dalam suatu ruang. Parameter utama dalam struktur tegakan meliputi parameter seperti kerapatan (*Density*) yang merupakan jumlah pohon per satuan luas yang menentukan intensitas persaingan antar individu dalam memperebutkan cahaya matahari dan nutrisi tanah, diameter batang (DBH) merupakan ukuran yang paling krusial karena memiliki korelasi positif paling kuat dengan biomassa; dimana semakin besar diameter pohon maka semakin luas penampang jaringan kayu yang menyimpan karbon, tinggi pohon yang mencerminkan stratifikasi tajuk dan kapasitas pohon dalam mengakses cahaya matahari untuk fotosintesis, serta komposisi jenis yang menentukan variasi massa jenis kayu dimana setiap spesies memiliki efisiensi penyimpanan karbon yang berbeda-beda tergantung kerapatan

yang terdapat dalam suatu serat kayu, sehingga analisis tegakan menjadi dasar penting dalam kajian ekologi (Ramadhan dkk., 2024).

Pohon dapat menyerap karbon melalui proses yang dinamakan dengan fotosintesis. Fotosintesis adalah proses biologis utama dimana pohon dapat menyerap CO₂ dan H₂O dari lingkungan sekitarnya dengan bantuan klorofil dan cahaya matahari sehingga mengubahnya menjadi bahan organik yang disimpan sebagai biomassa tumbuhan. Secara kimia proses fotosintesis dapat dirumuskan sebagai berikut:



Reaksi ini menunjukkan bahwa karbon dioksida yang diserap dari lingkungan sekitarnya dapat difiksasi menjadi glukosa sebagai hasil utama fotosintesis, sementara oksigen dilepas ke atmosfer (Azizah dkk., 2022). Senyawa glukosa yang dihasilkan melalui reaksi terang dan gelap tersebut tidak hanya berfungsi sebagai bahan bakar metabolisme, tetapi juga sebagai bahan utama pembentukan senyawa organik kompleks. Senyawa ini dialokasikan ke berbagai organ jaringan vegetatif melalui jaringan floem untuk membentuk selulosa dan lignin, yang secara fisik tampak sebagai penambahan diameter batang dan tinggi pohon atau pertumbuhan biomassa (Sugianto, 2023). Akumulasi biomassa ini berlangsung terus-menerus selama pohon tumbuh dan menjadikannya sebagai gudang penyimpan karbon biologis dalam suatu tegakan (Irvianty dkk., 2023).

Studi inventarisasi karbon pada tegakan pohon eksisting di Blok 3 Taman Kehati Nagrog dipandang sebagai unit stok karbon aktif. Efisiensi penyimpanan karbon pada tingkatan ini sangat dipengaruhi oleh tingkat kematangan (umur) dan kesehatan pohon. Tegakan dengan struktur yang kompleks dan didominasi oleh pohon berdiameter besar serta tajuk yang rimbun, memiliki potensi simpanan karbon per hektar yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan tumbuhan bawah seperti rumput atau semak, karena memiliki volume vaskuler yang besar dan kemampuan membentuk jaringan kayu (Khairunisa Pratiwi, Melfa Aisyah Hutasuhut, 2026) . Hal ini dikarenakan pohon dewasa telah melewati fase akumulasi biomassa primer yang panjang, sehingga jaringan kayunya telah

tersaturasi oleh karbon organik dalam jumlah besar (Salviana dkk., 2024). Secara metodologis, batas diameter minimum dapat memudahkan konsistensi analisis karena pohon kecil seringkali memiliki variasi ukuran yang sangat tinggi dan kontribusi penyerap karbon yang relatif kecil terhadap total stok karbon. Beberapa studi menunjukkan bahwa kelompok pohon berdiameter besar lebih representatif untuk menggambarkan cadangan karbon aktual kawasan dan lebih sabil dianalisis dengan persamaan allometrik. Dengan demikian kategori $DBH \geq 20$ cm sesuai untuk menjawab tujuan penelitian yang berfokus pada tegakan pohon eksisting yang menjadi prasyarat mutlak untuk menghasilkan estimasi cadangan karbon secara akurat dan realistis.

3. Pengukuran Vegetasi Hutan

Pengukuran vegetasi hutan merupakan tahapan penting dalam kegiatan inventarisasi untuk memperoleh data kuantitatif mengenai kondisi tegakan yang meliputi struktur, komposisi, dan parameter pertumbuhan pohon. Metode inventarisasi vegetasi dapat dilakukan melalui berbagai pendekatan seperti plot sampling, transek, *systematic sampling*, *purposive sampling*, ataupun sensus yang pemilihannya dapat disesuaikan dengan tujuan penelitian serta kondisi di lapangan. Dalam kajian biomassa dan cadangan karbon, metode non-destruktif lebih banyak digunakan karena tidak merusak pohon tetapi tetap mampu menghasilkan estimasi parameter ekologis yang akurat (Ng dkk., 2021).

Teknik pengukuran data utama pada vegetasi pohon meliputi diameter batang dan tinggi pohon. Diameter batang diukur pada ketinggian sekitar 1,3 meter dari permukaan tanah yang dikenal sebagai *diameter at breast height* (DBH) yang diukur menggunakan alat seperti DBH meter. Sementara itu, pengukuran tinggi pohon diukur menggunakan alat seperti klinometer untuk memperoleh data yang diperlukan dalam perhitungan estimasi biomassa. Standarisasi pengukuran DBH pada ketinggian 1,3 meter bertujuan untuk memastikan konsistensi data sehingga hasil penelitian dapat dibandingkan dengan studi lain serta meningkatkan validitas dalam perhitungan biomassa dan cadangan karbon berbasis persamaan allometrik.

Penelitian ini melakukan pengukuran vegetasi dengan pendekatan plot sampling yang disesuaikan dengan pembagian Sub-Blok pada Blok 3 yang telah ditetapkan sebelumnya. Pengambilan data dilakukan menggunakan metode sensus dengan pendekatan non-destruktif tanpa dilakukan penebangan. Parameter yang diukur meliputi diameter batang setinggi dada dan tinggi pohon. Pendekatan ini dinilai sesuai dengan untuk kawasan konservasi seperti Taman Kehati Nagrog karena mampu menjaga kelestarian vegetasi sekaligus menghasilkan data inventarisasi yang komprehensif dan akurat untuk analisis biomassa dan cadangan karbon (Santoso dkk., 2021).

4. Biomassa Pohon

Biomassa pohon adalah total bahan organik yang tersimpan dalam tubuh pohon baik di atas maupun di bawah permukaan tanah. Dalam penelitian ini biomassa merupakan indikator penting untuk menilai produktivitas vegetasi dan potensi penyimpanan karbon suatu kawasan.

Biomassa di atas permukaan tanah merupakan total massa bahan organik hidup yang berada di atas permukaan tanah, meliputi batang, cabang, ranting, dan daun. Biomassa ini menjadi komponen utama dalam perhitungan cadangan karbon karena sebagian besar karbon vegetasi tersimpan pada bagian tersebut (Drupadi dkk., 2024).

Besarnya biomassa di atas permukaan tanah dipengaruhi oleh ukuran pohon, jenis vegetasi, dan kondisi lingkungan tempat tumbuh. Pohon dengan diameter dan tinggi yang besar cenderung memiliki biomassa yang lebih tinggi, sehingga mampu menyimpan karbon dalam jumlah yang lebih besar.

Pendugaan biomassa di atas permukaan tanah umumnya dilakukan menggunakan metode non-destruktif dengan memanfaatkan persamaan allometrik. Metode ini memungkinkan estimasi biomassa secara efisien tanpa merusak vegetasi, sehingga sesuai diterapkan pada kawasan konservasi (Santoso dkk., 2021).

5. Pendugaan Biomassa dengan Persamaan Allometrik

Pendugaan biomassa merupakan proses estimasi jumlah biomassa vegetasi berdasarkan parameter batang dan tinggi pohon. Pendugaan ini dilakukan dengan menggunakan persamaan allometrik yang telah dikembangkan melalui penelitian sebelumnya (Santoso dkk., 2021).

Model allometrik dapat dibedakan menjadi model lokal, regional, dan global. Model lokal disusun berdasarkan data spesifik lokasi atau jenis tertentu sehingga umumnya memiliki tingkat akurasi lebih tinggi apabila diterapkan pada model yang dikembangkan oleh Chave dkk. (2005), yang dirancang untuk digunakan secara luas pada ekosistem hutan tropis.

Variabel yang umum digunakan dalam persamaan allometrik meliputi DBH, tinggi pohon, dan densitas kayu. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penggunaan kombinasi variabel-variabel tersebut mampu meningkatkan akurasi estimasi biomassa dibandingkan dengan penggunaan satu variabel tunggal.

Kelebihan utama metode allometrik adalah kemampuannya dalam menduga biomassa tanpa melakukan penebangan pohon, sehingga sangat sesuai diterapkan pada kawasan konservasi seperti Taman Kehati Nagrog. Namun, metode ini memiliki keterbatasan terutama terkait dengan ketergantungan model terhadap jenis pohon, kondisi tegakan, serta karakteristik wilayah. Oleh karena itu, pemilihan model allometrik yang tepat dan sesuai dengan kondisi lokasi penelitian menjadi hal yang sangat penting untuk meminimalkan bias dan meningkatkan keakuratan hasil pendugaan biomassa.

6. Cadangan Karbon Vegetasi Hutan

Vegetasi hutan khususnya kelompok tumbuhan berkayu, merupakan komponen biosfer yang memiliki peran sentral dalam menjaga keseimbangan siklus karbon global. Kemampuan utama vegetasi dalam mitigasi perubahan iklim bermula saat proses fotosintesis, dimana sebuah mekanisme biokimia tumbuhan yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi kimia. Secara spesifik molekul karbon dioksida (CO_2) dari atmosfer masuk ke dalam jaringan daun melalui celah stomata. Di dalam kloroplas, CO_2 difiksasi oleh enzim RuBisCo

melalui Siklus Calvin untuk menghasilkan molekul gula sederhana (glukosa). Proses tersebut merupakan titik awal dimana karbon yang semula berbentuk gas anorganik di atmosfer lalu diserap menjadi karbon organik di dalam tubuh tumbuhan. Karbon yang telah difiksasi ini tidak seluruhnya digunakan untuk respirasi tumbuhan, melainkan sebagian besar dialokasikan untuk pembentukan struktur tubuh atau biomassa.

Glukosa hasil fotosintesis mengalami polimerisasi menjadi senyawa kompleks yang lebih stabil yaitu selulosa sebagai polimer glukosa yang membentuk dinding sel tumbuhan serta memberikan kekuatan struktural tumbuhan, hemiselulosa yang merupakan matriks penghubung serat selulosa, serta lignin yang merupakan zat kayu kompleks yang memberikan kekuatan dan ketahanan terhadap pembusukan, sehingga karbon dapat tersimpan dalam jangka waktu yang sangat lama.

Secara kimiawi, sekitar 47% hingga 50% dari berat kering biomassa pohon terdiri dari atom karbon (Yahya dkk., 2025). Hal tersebut menjadi alasan mengapa suatu vegetasi disebut sebagai penyerap karbon (*carbon sink*), karbon tersebut terkunci di dalam batang, cabang, ranting, dan akar selama pohon tersebut hidup. Secara matematis cadangan karbon tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$C = B \times f$$

Keterangan:

- 1) C = cadangan karbon (kg C)
- 2) B = biomassa di atas permukaan tanah (kg)
- 3) f = faktor konversi karbon (0,5)

Menurut Brown (1997) dalam (Santoso dkk., 2021).

Dengan demikian, semakin besar biomassa suatu tegakan, maka semakin besar pula cadangan karbon yang tersimpan di dalamnya.

Hutan berperan sebagai *carbon sink* yang penting dalam menjaga keseimbangan karbon global. Kawasan konservasi seperti Taman Kehati Nagrog memiliki potensi dalam mendukung fungsi penyimpanan karbon melalui keberadaan vegetasi berkayu yang beragam. Besarnya cadangan karbon

dipengaruhi diantaranya adalah diameter batang dan tinggi pohon, kerapatan tegakan, komposisi jenis, umur tegakan, serta kondisi lingkungan.

Penelitian ini menjadikan DBH dan tinggi pohon sebagai parameter utama untuk mengetahui besarnya simpanan karbon pada tegakan pohon eksisting di lokasi penelitian. Data hasil pengukuran ini kemudian digunakan sebagai input dalam persamaan allometrik untuk menghitung biomassa di atas permukaan tanah (Drupadi dkk., 2024).

7. Variasi Cadangan Karbon Berdasarkan Jenis Pohon

Cadangan karbon pada tegakan hutan bervariasi antar jenis pohon akibat perbedaan karakteristik biologis dan ekologis terutama dalam kemampuan mengakumulasi biomassa. Variasi ini dipengaruhi oleh faktor utama seperti ukuran pohon, pola pertumbuhan, serta kerapatan kayu (*wood density*), dimana jenis dengan kerapatan kayu tinggi umumnya memiliki biomassa dan cadangan karbon lebih besar pada ukuran yang sama (Yahya dkk., 2025).

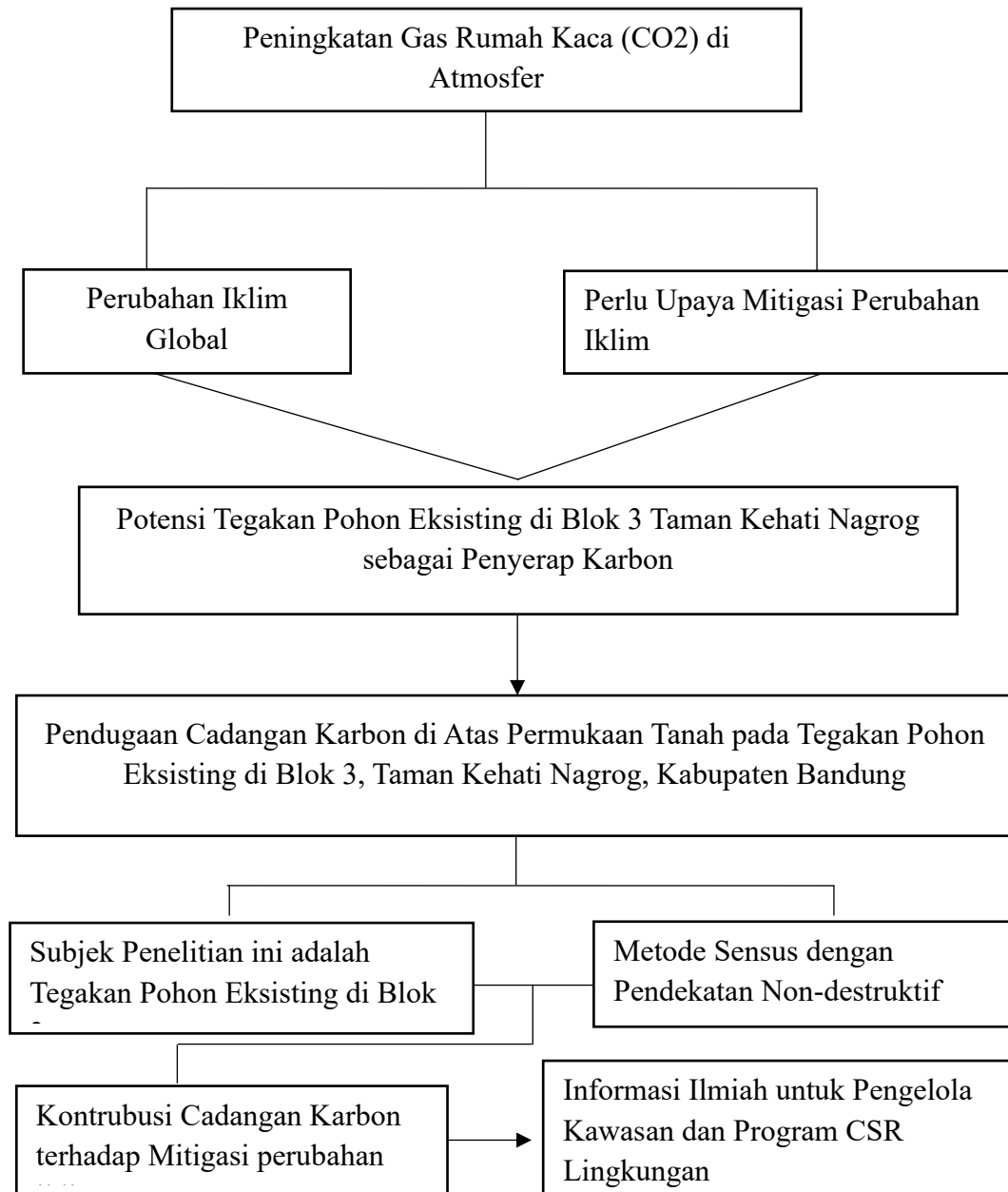
Perbedaan biomassa antarspesies dapat dipengaruhi oleh laju pertumbuhan dan diameter batang yang menjadi parameter utama pendugaan biomassa. Selain itu, dominansi jenis dalam suatu tegakan turut menentukan besarnya kontribusi terhadap cadangan karbon total karena jenis yang dominan pada umumnya menyumbang biomassa terbesar sehingga berperan penting untuk memahami peran vegetasi dalam mengurangi jumlah karbon dioksida di atmosfer serta kontribusinya terhadap upaya mitigasi perubahan iklim (Nazifa dkk., 2025).

Data kerapatan dalam pendugaan biomassa menjadi parameter penting yang diperoleh dari Wood Density Database (WDD). Basis data ini menghimpun informasi kerapatan kayu dari berbagai hasil penelitian di Indonesia, salah satunya yang bersumber dari Indonesia National Carbon Accounting System (INCAS) yang dikembangkan oleh Litbang Kehutanan, sehingga database ini menjadi rujukan penting dalam meningkatkan akurasi estimasi biomassa dan cadangan karbon.

Analisis variasi cadangan karbon berdasarkan jenis pohon penting dilakukan untuk mengidentifikasi spesies yang memiliki kontribusi terbesar dalam

penyimpanan karbon, khususnya pada tegakan pohon eksisting di Blok 3 Taman Kehati Nagrog.

B. Kerangka Berpikir



Gambar 2. 1 Kerangka Berpikir

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

C. Penelitian Terdahulu

Berikut beberapa penelitian terdahulu dalam lima tahun terakhir yang menjadi referensi dari penelitian ini.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No.	Nama Penulis	Tahun	Judul Penelitian	Tempat Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1	Pebriandi Dkk.	2024	Estimation of aboveground carbon stock in PT KOJO's forest in Riau, Indonesia	Hutan PT KOJO, Kecamatan Pinggir, Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau, Indonesia.	Metode deskriptif kuantitatif dengan sampling non-destruksi dan destruktif. Data diperoleh dengan membuat transek petak kuadrat. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan allometrik	Diameter batang dan tinggi pohon berpengaruh signifikan terhadap besarnya biomassa dan cadangan karbon tegakan.
2	Karma Dkk.	2021	Pendugaan Cadangan Karbon Pada Tegakan Pohon di Kawasan Hutan Lindung Irier (HLI) Kampung Sewan, Distrik Sarmi Timur	Hutan Lindung Irier (HLI) Kampung Sewan, Distrik Sarmi Timur, Kabupaten	Metode purposive sampling dengan metode garis transek untuk menentukan kerapatan vegetasi,	Menunjukk an bahwa tegakan pohon di hutan lindung memiliki potensi yang

			Kabupaten Sarmi, Papua.	Sarmi, Papua.	dilanjutkan dengan perhitungan estimasi cadangan karbon menggunakan persamaan allometrik	signifikan dalam meningkatkan cadangan karbon di kawasan dataran rendah Papua Bagian Utara, dengan capaian sebesar 80,18 ton/ha.
3	Salviana Dkk.	2024	Analisis dan Potensi Cadangan Karbon pada Hutan Kemasyarakatan (Hkm) Oi Rida Lestari Kabupaten Bima	Hkm Oi Rida Lestari di Desa Maria Utara, Kecamatan Wawo, Kabupaten Bima.	Metode deskriptif dengan pendekatan kuantitatif. Data diperoleh dengan metode purposive sampling yang terdistribusi menjadi 38 plot.	Vegetasi pohon merupakan penyumbang utama cadangan karbon dibandingkan strata vegetasi lainnya.
4	Drupadi Dkk.	2021	Pendugaan Kadar Biomassa dan Karbon Tersimpan pada berbagai Kemiringan dan	KHDTK Gunung Bromo UNS	Metode survei dengan purposive sampling, dilakukan pengamatan	Peningkatan ukuran pohon berbanding lurus dengan

			Tutupan di KHDTK Gunung Bromo UNS		pada empat tutupan lahan. Estimasi biomassa dilakukan secara non- destructive.	peningkat an potensi cadangan karbon.
5	Santoso Dkk.	2021	Pendugaan Biomassa dan Serapan Karbon di Beberapa Areal Taman Hutan Kota Jakarta, Bekasi, dan Bogor	Taman Hutan Kota Jakarta, Bekasi, dan Bogor	Pengumpulan data menggunakan metode sensus. Pengambilan sampel menggunakan teknik non- destruktif.	Ruang terbuka hijau memiliki peran penting dalam menyimpan karbon dan mendukung mitigasi perubahan iklim.