

**ESTIMASI SIMPANAN KARBON DAN KEANEKARAGAMAN JENIS
VEGETASI PADA EKOSISTEM MANGROVE DI KAWASAN TAMAN
WISATA ALAM ANGKE KAPUK JAKARTA UTARA**

(Skripsi)

Oleh

**AKIP MAULANA YUSUP
2014151051**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

ESTIMASI SIMPANAN KARBON DAN KEANEKARAGAMAN JENIS VEGETASI PADA EKOSISTEM MANGROVE DI KAWASAN TAMAN WISATA ALAM ANGKE KAPUK JAKARTA UTARA

Oleh

AKIP MAULANA YUSUP

Hutan mangrove merupakan bentuk nyata yang membantu menahan air laut agar tidak mengikis daratan di garis pantai. Taman Alam Angke Kapuk (TWA) di Desa Kamal Muara, Kecamatan Pejaringan, memiliki potensi besar untuk konservasi dan sebagai ruang terbuka hijau yang berdampak positif berupa jasa lingkungan bagi daerah sekitarnya. Pentingnya menjaga Ekosistem Mangrove (MAK) Angke Kapuk sebagai salah satu ekosistem yang tersisa di pantai utara Jakarta dan memiliki sejumlah jasa ekosistem, saat ini menghadapi potensi ancaman degradasi yang perlu segera diantisipasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui Indeks Nilai Penting (INP), Indeks Keanekaragaman (H'), Indeks Kemerataan (E) dan Indeks Kekayaan Spesies (R) dan mengestimasi nilai simpanan karbon. Penelitian ini dilakukan di Taman Alam Angke Kapuk yang memiliki luas 99,82 ha. Penelitian ini dilakukan selama kurang lebih 1 bulan, yaitu dari bulan Juli hingga Agustus 2024. Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan teknik pengambilan sampel. Untuk menghitung total stok karbon tutupan lahan atau penggunaan lahan didasarkan pada kandungan biomassa vegetasi tegakan Hutan Mangrove. Penelitian ini memiliki 23 plot di mana jumlah penyimpanan karbon yang terkandung bervariasi. Perhitungan Indeks Nilai Penting (INP) di lokasi penelitian Taman Wisata Alam Angke Kapuk (TWAAK) untuk fase pohon yang tertinggi terdapat pada jenis individu Api-api Hitam (*Avicennia alba*), Api-api Putih (*Avicennia marina*) dan Anggur Laut (*Coccoloba uvifera*). Hasil perhitungan Indeks Keanekaragaman Hayati (H') sebesar 0,72, Indeks Kemerataan Jenis (E) sebesar 0,67, dan Indeks Kekayaan Jenis (R) sebesar 0,71. estimasi simpanan karbon dengan rerata sebesar 62,9 tC/ha dengan interval nilai berkisar antara 53,02 tC/ha sampai 72,69 tC/ha serta memiliki *sampling error* sebesar 15,64%.

Kata Kunci : Stok Karbon, Keanekaragaman Jenis Vegetasi, Mangrove

ABSTRACT

ESTIMATION OF CARBON STORAGE AND DIVERSITY OF VEGETATION SPECIES IN MANGROVE ECOSYSTEMS IN THE ANGKE KAPUK NATURE PARK AREA, NORTH JAKARTA

By

AKIP MAULANA YUSUP

*Mangrove forests are a tangible form that helps keep seawater from eroding the land on the coastline. Angke Kapuk Nature Park (TWA) in Kamal Muara Village, Pejaringan District, has great potential for conservation and as a green open space that has a positive impact in the form of environmental services for the surrounding area. The importance of maintaining the Angke Kapuk Mangrove Ecosystem (MAK) as one of the remaining ecosystems on the north coast of Jakarta and has some ecosystem services, currently faces a potential threat of degradation that needs to be anticipated immediately. The purpose of this study is to determine the Important Value Index (INP), Diversity Index (H'), Evenness Index (E), and Species Richness Index (R) and estimate the value of carbon storage. This research was conducted in Angke Kapuk Nature Park which has an area of 99.82 ha. This research was carried out for approximately 1 month, from July to August 2024. Sampling was carried out using a sampling technique. Land cover or land use is based on the biomass content of mangrove forest stands to calculate the total carbon stock. The study had 23 plots in which the amount of carbon stored in it varied. The calculation of the Important Value Index (INP) at the Angke Kapuk Nature Tourism Park (TWAAK) research site for the highest tree phase was found in the individual species of Api-api Hitam (*Avicennia alba*), Api-api Putih (*Avicennia marina*) and Anggur Laut (*Coccoloba uvifera*). The results of the calculation of the Biodiversity Index (H') were 0.72, the Type Evenness Index (E) was 0.67, and the Type Wealth Index (R) was 0.71. The estimated carbon storage with an average of 62.9 tC/ha with a value interval ranging from 53.02 tC/ha to 72.69 tC/ha and had a sampling error of 15.64%.*

Keywords: Carbon Stock, Diversity of Vegetation Types, Mangrove

**ESTIMASI SIMPANAN KARBON DAN KEANEKARAGAMAN JENIS
VEGETASI PADA EKOSISTEM MANGROVE DI KAWASAN
TAMAN WISATA ALAM ANGKE KAPUK JAKARTA UTARA**

Oleh

**AKIP MAULANA YUSUP
2014151051**

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mendapat Gelar
SARJANA KEHUTANAN**

Pada

**Jurusan Kehutanan
Fakultas Pertanian**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul : ESTIMASI SIMPANAN KARBON DAN KEANEKARAGAMAN JENIS VEGETASI PADA EKOSISTEM MANGROVE DI KAWASAN TAMAN WISATA ALAM ANGKE KAPUK JAKARTA UTARA

Nama Mahasiswa : *Akip Maulana Yusup*

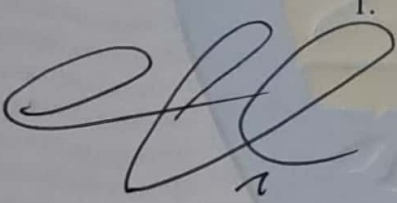
Nomor Pokok Mahasiswa : 2014151051

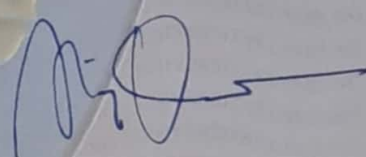
Jurusan : Kehutanan

Fakultas : Pertanian

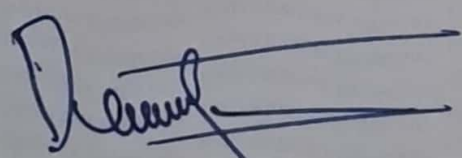
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Dr. Ir. Gunardi Djoko Winarno, M.Si.
NIP 196912172005011003


Dr. Arief Darmawan, S.Hut., M.Sc.
NIP 197907012008011009

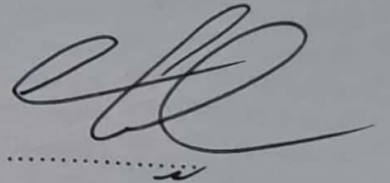
2. Ketua Jurusan Kehutanan


Dr. Bainah Sari Dewi, S.Hut., M.P., IPM.
NIP 197310121999032001

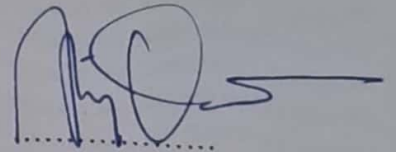
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

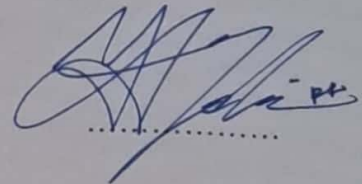
Ketua : **Dr. Ir. Gunardi Djoko Winarno, M.Si.**



Sekretaris : **Dr. Arief Darmawan, S.Hut., M.Sc.**



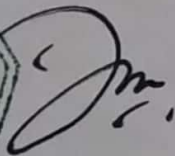
Anggota : **Dr. Yulia Rahma Fitriana, S.Hut., M.Sc.**



2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.
NIP. 196411181989021002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **12 Desember 2024**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Akip Maulana Yusup

NPM : 2014151051

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan sungguh-sungguh, bahwa skripsi saya yang berjudul:

“ ESTIMASI SIMPANAN KARBON DAN KEANEKARAGAMAN JENIS VEGETASI PADA EKOSISTEM MANGROVE DI KAWASAN TAMAN WISATA ALAM ANGKE KAPUK JAKARTA UTARA ”

Adalah benar karya saya sendiri yang saya susun dengan mengikuti norma dan etika akademik yang berlaku. Selanjutnya, saya juga tidak keberatan apabila sebagian atau seluruh data pada skripsi ini digunakan oleh dosen dan/atau program studi untuk kepentingan publikasi. Jika di kemudian hari terbukti pernyataan saya tidak benar, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar sarjana maupun tuntutan hukum.

Bandar Lampung, 12 Desember 2024
Yang menyatakan



Akip Maulana Yusup
NPM 2014151051

RIWAYAT HIDUP



Akip Maulana Yusup (Penulis) atau akrab disapa Akip, lahir di Jakarta, 18 Juli 2002. Penulis merupakan anak ketiga dari empat bersaudara, dari pasangan Bapak Hardan Mahu dan Ibu Cicih. Penulis menempuh pendidikan di SD Negeri Parungpanjang 04 pada tahun 2008-2014, SMP Negeri 1 Parungpanjang 2014-2017, dan SMA Negeri 1 Parungpanjang tahun 2017-2020. Tahun 2020 penulis melanjutkan pendidikan dan terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Jurusan Kehutanan (Himasyilva) sebagai Sekretaris Bidang 2 dan Ketua Bidang 2 (Pengkaderan dan Penguatan Organisasi) Himasyilva pada tahun 2021-2023, Anggota UKM Futsal Universitas Lampung pada tahun 2021-2023 dan Anggota Divisi Internal BEM Fakultas Pertanian pada tahun 2022-2023. Kegiatan keprofesional yang pernah diikuti oleh penulis yaitu mengikuti kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari di Pekon Mulang Maya, Kecamatan Ngaras Kabupaten Pesisir Barat, Provinsi Lampung pada Januari-Februari 2023. Penulis juga melaksanakan kegiatan Praktik Umum (PU) di Hutan Pendidikan Universitas Gadjah Mada (UGM) yaitu Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Wanagama dan KHDTK Getas selama 20 hari pada Juli-Agustus tahun 2023. Penulis pernah membuat karya tulis yang dipublikasikan dalam *Bilsel International Sumela Scientific Researches Congress 2024* dengan judul *“Estimation of Carbon Storage and Diversity of Vegetation Species in Mangrove Ecosystems in The Angke Kapuk Nature Park Area, North Jakarta”*

"Walaupun Kusut yang Penting S.Hut"
(Akip M.Y)

"In Omnia Paratus"

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR LAMPIRAN	v
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Permasalahan Penelitian.....	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	4
1.5. Kerangka Pemikiran.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Gambaran Umum Lokasi	6
2.2. Karbon.....	7
2.2.1. Siklus Karbon.....	8
2.2.2. Serapan Karbon.....	10
2.2.3. Perubahan Iklim / <i>Climate Change</i>	11
2.2.4. Peranan Hutan Sebagai Penyerap Karbon.....	14
2.3. Mangrove	15
2.3.1. Fungsi Mangrove	16
2.3.2. Manfaat Mangrove	17
2.4. Pengukuran Biomassa Dengan Persamaan Allometrik.....	18
2.5. Taman Wisata Alam.....	19
III. METODE PENELITIAN	21
3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian	21
3.2. Alat dan Bahan.....	23

3.3.	Jenis Data dan Teknik Pengambilan Data.....	24
3.3.1.	Metode Pengambilan Data	24
3.3.2.	Teknik Pengambilan Data	26
3.4.	Analisis Data	27
3.4.1.	Perhitungan Biomassa.....	27
3.4.2.	Perhitungan Karbon	28
3.4.3.	Indeks Nilai Penting (INP)	29
3.4.4.	Indeks Keanekaragaman Hayati (H')	29
3.4.5.	Indeks Kemerataan Jenis (E)	30
3.4.6.	Indeks Kekayaan Jenis (R)	31
3.4.7.	Analisis Statistik	31
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1.	Kondisi Umum TWA Angke Kapuk.....	33
4.1.1.	Luas, Letak dan Status TWA Angke Kapuk	33
4.1.2.	Kondisi Fisik dan Sosial Kawasan TWA Angke Kapuk	34
4.1.3.	Kondisi Sosial Kawasan TWA Angke Kapuk	35
4.2.	Komposisi Vegetasi	36
4.3.	Indeks Nilai Penting (INP) di Tutupan Hutan TWAAK.....	38
4.4.	Indeks Keanekaragaman Hayati.....	41
4.4.1.	Indeks Keanekaragaman Jenis	41
4.4.2.	Indeks Kemerataan Jenis.....	43
4.4.3.	Indeks Kekayaan Jenis	45
4.5.	Estimasi Simpanan Karbon pada Vegetasi Mangrove	46
4.6.	Hubungan Simpanan Karbon dengan Indeks Keanekaragaman Hayati	48
4.7.	Sebaran Kelas Diameter	51
4.8.	Uji Kesalahan Sampling / <i>Sampling Error</i>	55
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	60
5.1.	Kesimpulan	60
5.2.	Saran.....	61
	DAFTAR PUSTAKA	62
	LAMPIRAN.....	71

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Rumus Persamaan Allometrik Pada Vegetasi Mangrove	28
2. Analisis Statistik Nilai Ketidakpastian dari Faktor Cadangan Karbon.....	32
3. Jenis Tumbuhan di Kawasan TWAAK.....	36
4. Indeks Nilai Penting Fase Pohon	38
5. Indeks Nilai Penting Fase Tiang	39
6. Indeks Nilai Penting Fase Pancang.....	39
7. Indeks Nilai Penting Fase Semai	40
8. Estimasi Nilai Karbon Vegetasi Mangrove per Plot.....	46
9. Kategori Nilai Karbon Mangrove	47
10. Uji Kesalahan Sampling Karbon Stok Mangrove di Atas Permukaan Tanah.....	55
11. Perbandingan dengan Penelitian Estimasi Simpanan Karbon di Ekosistem Mangrove	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka Pemikiran.....	5
2. Siklus Karbon.....	9
3. Peta Kawasan TWAAK	21
4. Lokasi Sebaran Petak Sampel pada Kawasan TWAAK.....	23
5. Bentuk Plot Pengambilan Sampel.....	25
6. Prosedur Pengukuran DBH Pada Batang Utama	26
7. Indeks keanekaragaman jenis (H') di Kawasan TWAAK.....	42
8. Indeks Kemertaan Jenis (E) di Kawasan TWAAK.....	44
9. Indeks Kekayaan Jenis (R) di Kawasan TWAAK.....	45
10. Hubungan Estimasi Simpanan Karbon Per-plot dengan Indeks Kehati	49
11. Sebaran Data Jumlah Individu dan Stok Karbon Berdasarkan Kelas Diameter.....	52

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Pembuatan Petak Plot ke 1.....	72
2. Pembuatan Petak Plot ke 2.....	72
3. Pembuatan Petak Plot ke 3.....	72
4. Pembuatan Petak Plot ke 4.....	72
5. Pembuatan Petak Plot ke 5.....	73
6. Pembuatan Petak Plot ke 6.....	73
7. Pembuatan Petak Plot ke 7.....	73
8. Pembuatan Petak Plot ke 8.....	73
9. Pembuatan Petak Plot ke 9.....	73
10. Pembuatan Petak Plot ke 10.....	73
11. Pembuatan Petak Plot ke 11.....	74
12. Pembuatan Petak Plot ke 12.....	74
13. Pembuatan Petak Plot ke-13.....	74
14. Pembuatan Petak Plot ke-14.....	74
15. Pengukuran Diameter Pohon Terbesar 1.....	74
16. Pengukuran Diameter Pohon Terbesar 2.....	74
17. Kondisi Vegetasi di Lokasi Penelitian.....	75
18. Kondisi Vegetasi di Lokasi Penelitian.....	75
19. Kondisi Vegetasi yang Rusak di Lokasi Penelitian.....	75
20. Alat dan Bahan Peneliitian.....	75
21. Persemaian TWAAK.....	75
22. Satwa liar di Kawasan TWAAK.....	75
23. Kondisi Kawasan TWAAK.....	76
24. Papan Informasi TWAAK.....	76

25. Penyerahan Surat Izin Penelitian `	76
26. Menginput Data ke Dalam Tallysheet	76
27. Salah Satu Rekreasi di TWAAK.....	76
28. Blok Penanaman TWAAK	76
29. Lokasi Penanaman VVIP	77
30. Mangrove House	77
31. Surat Penelitian	78
32. Tallysheet Penelitian	79
33. Data Perhitungan INP Fase Pohon.....	79
34. Data Peerhitungan INP Fase Tiang.....	79
35. Data Peerhitungan INP Fase Pancang.....	80
36. Data Peerhitungan INP Fase Semai	80
37. Rekapitulasi Perhitungan Keanekaragaman (H'),	80
38. Tabel Perhitungan Sampling Error	81
39. Tabel Perhitungan Karbon Tingkat Pohon.....	86
40. Tabel Perhitungan Karbon Tingkat Tiang	89
41. Tabel Perhitungan Karbon Tingkat Pancang	89

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Hutan merupakan sumber daya alam yang berperan penting pada lini kehidupan, baik dari ekonomi, sosial, budaya, dan lingkungan (Widodo dan Sidik, 2020). Areal hutan yang semakin berkurang tentunya menyebabkan punahnya berbagai jenis spesies yang menyebabkan berbagai dampak termasuk menimbulkan efek gas rumah kaca (Novalia, 2017). Hutan Indonesia adalah hutan yang sering disebut salah satu paru dunia yang menyumbangkan oksigen untuk keberlangsungan makhluk hidup yang dapat menyerap karbon dioksida yakni karbon yang berbahaya dan menghasilkan gas oksigen yang diperlukan oleh manusia (Shafitri *et al.*, 2018).

Hutan memiliki fungsi penting seperti perlindungan, produksi dan konservasi. Hutan merupakan penyerap karbon terbesar dan memainkan peranan penting dalam siklus karbon global serta dapat menyimpan karbon sekurang-kurangnya 10 kali lebih besar dibandingkan dengan tipe vegetasi lain. Pengukuran besar penyerapan karbondioksida (CO₂) oleh pohon dapat diduga dari biomassa pohon. Kerusakan hutan, perubahan iklim, dan pemanasan global secara tidak langsung menyebabkan manfaat hutan berkurang. Upaya menguranginya dengan cara penanaman vegetasi pada lahan yang kosong atau merehabilitasi hutan akan membantu menyerap kelebihan karbondioksida (CO₂) di atmosfer (Adinugroho *et al.*, 2006).

Hutan mangrove sangat membantu dalam mengontrol air laut agar tidak mengikis tanah di sekitar pantai. Sebagai komunitas vegetasi pantai tropis, ekosistem mangrove terdiri dari berbagai spesies mangrove yang tumbuh subur dan berkembang karena pasang surut air laut dan air laut berlumpur. Habitat mangrove terletak di daerah di mana air laut dan muara sungai berkumpul. Ketika

air sungai mengalir dari darat ke laut, mereka berkumpul di ekosistem mangrove, sehingga air di sekeliling mangrove menjadi payau (Yeni *et al.*, 2020). Deforestasi, perubahan iklim, dan pemanasan global secara tidak langsung mengurangi manfaat hutan. Upaya untuk menguranginya dengan cara penanaman vegetasi di lahan yang kosong atau memulihkan hutan akan membantu menyerap kelebihan karbondioksida (CO₂) dari atmosfer (Adinugroho *et al.*, 2006).

Salah satu fungsi ekologis pada hutan mangrove diantaranya adalah sebagai sumber karbon tinggi, yang merupakan aspek penting dari upaya konservasi di kawasan tersebut. Indonesia sendiri memiliki kawasan hutan mangrove yang cukup luas. Cadangan karbon global rata-rata yang dimiliki oleh ekosistem mangrove diperkirakan sebesar 956 MgC ha⁻¹, yang jauh lebih tinggi dibandingkan hutan hujan tropis, lahan gambut, rawa asin, dan padang lamun (Kusumaningtya *et al.*, 2019). Cadangan karbon di hutan mangrove lebih tinggi dibandingkan dengan simpanan karbon pada tipe hutan lainnya, dengan simpanan karbon terbesar terdapat pada sedimen mangrove. Daun dan ranting pohon mangrove yang gugur didekomposisi oleh mikroorganisme, dan menjadi salah satu sumber bahan organik pada sedimen mangrove (Fella *et al.*, 2020).

Kawasan pesisir utara Jakarta merupakan salah satu ekosistem di Teluk Jakarta yang mengalami tekanan lingkungan. Tekanan tersebut salah satu penyebabnya adalah penumpukan konsentrasi penduduk sebagai akibat dari pembangunan wilayah yang mengalami pertumbuhan di berbagai sektor seperti pusat perdagangan, permukiman, pusat pemerintahan, rekreasi, pendidikan, dan lain-lain (Agus *et al.*, 2014). Hutan mangrove Taman Wisata Angke Kapuk menjadi penyimpan potensi baik secara fisik, ekonomi dan ekologi. Hutan mangrove berperan sebagai pencegah dan penahan intrusi air laut ke darat, perluasan lahan atau tanah timbul, penghasil oksigen dan menahan pencemaran lingkungan khususnya sekitar pantai.

Taman Wisata Alam (TWA) Angke Kapuk di Desa Kamal Muara, Kecamatan Pejaringan, memiliki potensi besar untuk konservasi dan sebagai ruang terbuka hijau yang memiliki dampak positif berupa jasa lingkungan untuk sekitarnya. Pentingnya menjaga Ekosistem Mangrove Angke Kapuk (MAK) sebagai salah satu ekosistem yang tersisa di pesisir utara Jakarta dan memiliki

sejumlah jasa ekosistem, saat ini tengah menghadapi potensi ancaman degradasi sehingga perlu segera diantisipasi (Sofian *et al.*, 2020). Salah satunya adalah kawasan Taman Wisata Alam Angke Kapuk yang memiliki potensi besar dalam hal penyimpanan karbon untuk kawasan DKI Jakarta khususnya Jakarta Utara.

Secara ekologis hutan mangrove memiliki peran sebagai tempat berkembang biak ikan dan lokasi pemijahan ikan atau dikenal dengan istilah *spawning ground*, menjadi lokasi atau tempat berkembang biak (*nursery ground*), tempat mencari makan atau *feeding ground* bagi organisme di sekitarnya, dan penyedia makanan bagi berbagai macam biota laut. Hutan mangrove mampu memberikan manfaat bagi masyarakat sekitar seperti sumber pencaharian bahan pangan dan memberikan kontribusi nyata dalam peningkatan ekonomi masyarakat sekitar hutan (Indrian *et al.*, 2014).

1.2. Permasalahan Penelitian

Hutan mangrove di Taman Wisata Alam Angke Kapuk merupakan kawasan konservasi mangrove di Daerah Khusus Jakarta. Oleh karena itu perlu dilakukan pengkajian terhadap potensi ekosistem mangrove terutama kemampuan penyimpanan karbon. Berdasarkan uraian tersebut bahwa permasalahan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Berapa nilai Indeks Nilai Penting (INP) pada kawasan Taman Wisata Alam Angke Kapuk?
2. Berapa nilai Indeks Keanekaragaman Hayati (H'), Indeks Kemerataan (E) dan Indeks Kekayaan Jenis (R) pada kawasan Taman Wisata Alam Angke Kapuk?
3. Berapa estimasi nilai simpanan karbon pada Hutan Mangrove di kawasan Taman Wisata Alam Angke Kapuk?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang bahwa tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Mengetahui Indeks Nilai Penting (INP), pada Hutan Mangrove di kawasan Taman Wisata Alam Angke Kapuk (TWAAK), Penjaringan, Jakarta Utara, DKI Jakarta.
2. Mengetahui nilai dan kategori Indeks Keanekaragaman Hayati (H'), Indeks Kemerataan (E) dan Indeks Kekayaan Jenis (R) di kawasan Taman Wisata Alam Angke Kapuk (TWAAK), Penjaringan, Jakarta Utara, DKI Jakarta.
3. Menduga nilai simpanan karbon pada Ekosistem Mangrove di kawasan Taman Wisata Alam Angke Kapuk (TWAAK), Penjaringan, Jakarta Utara, DKI Jakarta.

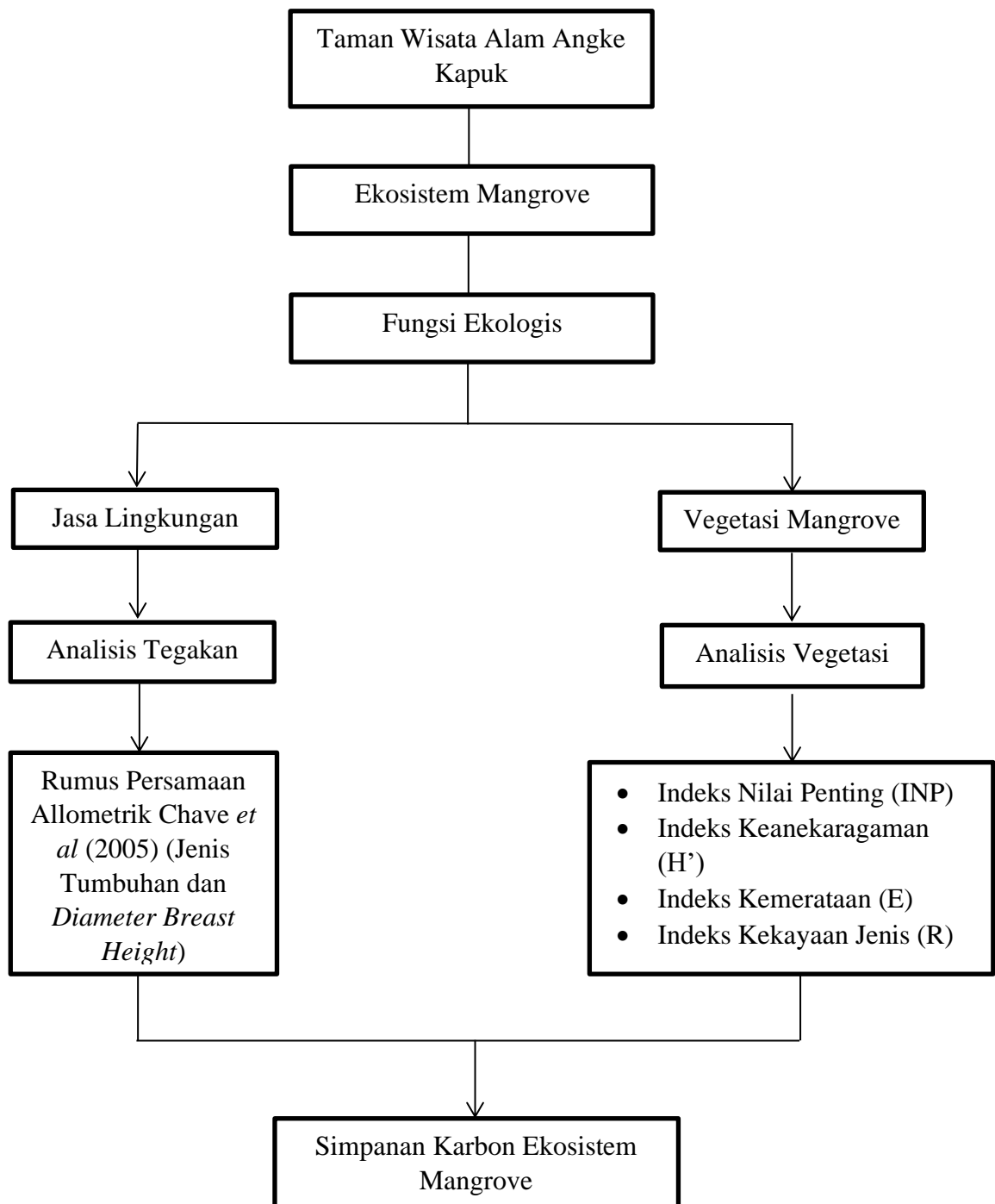
1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian adalah sebagai berikut.

1. Menghasilkan Informasi dan data mengenai estimasi simpanan karbon pada ekosistem mangrove di kawasan Taman Wisata Alam Angke Kapuk Jakarta Utara.
2. Data yang berguna sebagai bahan pendukung perencanaan dan pengelolaan hutan mangrove secara lestari.

1.5. Kerangka Pemikiran

Kajian pendugaan estimasi karbon pada ekosistem mangrove di kawasan Taman Wisata Alam Angke Kapuk, Penjaringan Jakarta Utara ini dilakukan di kawasan Pantai Indah Kapuk. Penelitian ini dilakukan dengan metode penelitian deskriptif eksploratif. Metode deskriptif adalah salah satu metode yang dilakukan dengan cara mengumpulkan data serta informasi dari hasil *interview*, catatan lapangan, foto, dokumen pribadi dan dokumen resmi. Serta pengambilan data sampel pohon menggunakan metode *non destructive sampling*. Pengukuran pendugaan biomassa atas permukaan tegakan di mangrove menggunakan persamaan rumus allometrik.



Gambar 1. Kerangka Pemikiran

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gambaran Umum Lokasi

Taman Wisata Alam Wisata Angke adalah salah satu kawasan konservasi yang terletak di Daerah Khusus Jakarta di antara gedung pencakar langit dan dibatasi serta terhimpit oleh proyek reklamasi saat ini dan menjadi salah satu area yang menyumbangkan oksigen (O₂) untuk kota metropolitan ini. Sebagai tempat wisata yang berada di pusat kota, taman wisata ini juga berfungsi sebagai obyek wisata dan rekreasi. Hal ini juga didukung dengan kondisi alamnya yang berada di wilayah pesisir utara kota Jakarta. Secara administratif, Taman Wisata Alam Angke Kapuk (TWAAK) terletak di Kelurahan Kamal Muara, Kecamatan Penjaringan, Kotamadya Jakarta Utara. Secara geografis terletak pada 106°43'106°45' BT dan 6°05' - 6°07' LS.

Taman Wisata Alam Wisata Angke mulai dikelola belum terlalu lama. Pelopor kawasan konservasi ini adalah Alm Ibu Sri Leila Murniwati Harahap yang telah diberi kewenangan oleh Menteri Kehutanan pada tahun 1994. Alasan utama didirikannya kawasan konservasi Angke Kapuk adalah karena realita bahwa hutan bakau di sepanjang pesisir Jakarta semakin berkurang. Cara dan upaya untuk membangun kawasan yang semulanya merupakan areal hutan pesisir pantai yang ditanami berbagai jenis bakau di wilayah utara Kota Jakarta ini mendapat reaksi yang berbeda-beda. Terdapat penolakan dari warga sekitar umumnya merupakan penambang liar kurang sepakat dengan rencana tersebut, namun lambat laun ikut merasakan dampak positifnya.

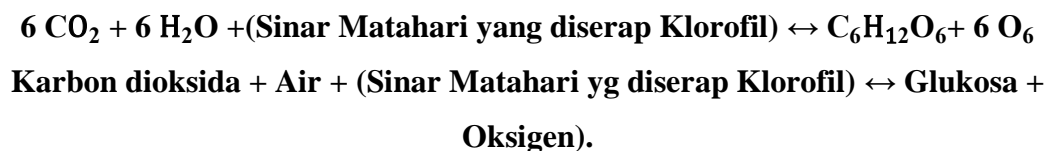
Akhirnya pada tanggal 25 Januari 2010, kawasan ini ditetapkan secara resmi sebagai kawasan konservasi dan lokasi wisata dengan nama Taman Wisata Alam Angke Kapuk. Peresmian objek wisata ini melalui Surat Keputusan Menteri

Kehutanan No. 537/Kpts-II/1997 dan dilakukan oleh Menteri Kehutanan Periode 2009 – 2014 yang kala itu dijabat oleh Bapak Zulkifli Hasan.

2.2. Karbon

Karbon (C) adalah unsur non-logam alami yang melimpah dan merupakan dasar dari sebagian besar organisme hidup, di mana tabel periodik dilambangkan dengan C dan nomer atom 6. Karbon adalah unsur yang paling melimpah keempat di alam semesta dan memainkan peran penting dalam kesehatan dan stabilisasi melalui siklus karbon planet ini. Sifat-sifat karbon terkadang bervariasi kadang berubah tergantung pada apa dan bagaimana obligasi itu membuatnya menjadi unsur yang sangat unik.

Secara umum, organisme fotoautotrofik mengambil karbon dari udara. (Tumbuhan, ganggang, dll, yang mampu berfotosintesis) Organisme ini, yang disebut tumbuhan, mengubah karbon. organisme tersebut akan memproses karbon menjadi bahan makanan yang disebut karbohidrat, dengan proses kimia sebagai berikut mengubah karbon menjadi bahan nutrisi yang disebut karbohidrat melalui proses kimia sebagai berikut:



Karbon adalah unsur kimia dengan nomor atom 6 (C_2) (Badan Standardisasi Nasional, 2011). Tumbuhan mengurangi karbon dioksida (CO_2) yang diserap di atmosfer melalui fotosintesis dan tumbuhan menyimpannya dalam jaringan tumbuhan. Sampai dikembalikan ke atmosfer, ia menempati salah satu dari beberapa penyerap karbon. Sampai waktunya karbon tersebut tersikluskan kembali ke atmosfer, karbon tersebut akan menempati salah satu dari sejumlah kantong karbon. Semua komponen penyusun vegetasi baik pohon, semak, liana dan epifit merupakan bagian dari biomassa atas permukaan. Dibawah permukaan tanah, akar tumbuhan juga adalah salah satu penyimpan karbon selain tanah itu sendiri.

Karbon juga disimpan dalam bahan organik mati dan produk berbasis biomassa seperti produk kayu, baik saat masih digunakan maupun di tempat

penimbunan. Karbon (C) Dalam siklus karbon, vegetasi melalui fotosintesis merubah CO_2 dari udara dan air menghasilkan karbohidrat dan oksigen. Karbohidrat yang terbentuk disimpan oleh vegetasi dan sebagian oksigen dilepaskan ke atmosfer (Fardiaz, 1995).

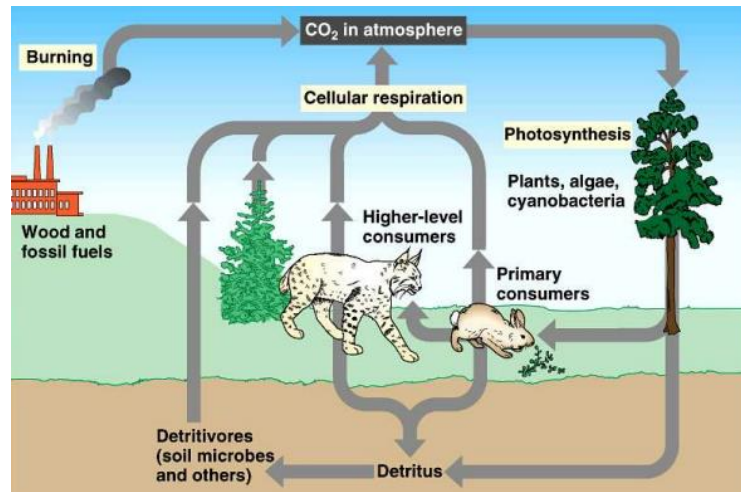
2.2.1. Siklus Karbon

Siklus karbon adalah siklus biogeokimia dimana karbon dipertukarkan antara biosfer (pada makhluk hidup), geosfer (di dalam bumi), hidrosfer (di air), dan atmosfer bumi (di udara) (objek astronomis lainnya bisa jadi memiliki siklus karbon yang hampir sama meskipun hingga kini belum diketahui). Dalam siklus ini terdapat empat reservoir karbon utama yang dihubungkan oleh jalur pertukaran.

Proses alami yang dikenal sebagai "siklus karbon" mengatur pergerakan unsur karbon melalui atmosfer, biosfer, hidrosfer, dan litosfer. Di atmosfer, karbon terutama ditemukan dalam bentuk CO_2 , yang diambil oleh tumbuhan melalui fotosintesis dan kemudian digunakan untuk pertumbuhan dan pengembangan. Selain itu, menurut Falkowski *et al* (2000), respirasi organisme, pembakaran bahan organik, dan dekomposisi menyebabkan karbon dilepaskan kembali ke atmosfer. Proses ini menghubungkan berbagai bagian ekosistem Bumi, membentuk siklus yang terus berubah dan berkelanjutan. Dalam siklus karbon, karbon bergerak melalui berbagai kompartemen (atmosfer, tanaman, hewan, tanah, laut, dan batuan) melalui beberapa proses biogeokimia, yang termasuk fotosintesis, respirasi, dekomposisi, pembakaran, dan proses geologi.

Siklus karbon adalah bagian alami dan tidak terpisahkan dari kehidupan di Bumi. Sebuah atom karbon yang tersimpan di rumput dapat beralih ke tubuh hewan yang memakan rumput. Ketika hewan mati, tubuhnya akan membusuk, dan atom karbon dapat bergabung dengan oksigen membentuk CO_2 di udara. Dari sana mungkin akan diambil oleh pohon dalam proses fotosintesis dan digunakan sebagai sebuah bahan penyusun bangunan pada cabang atau batang, atau diserap oleh lautan. Dan seterusnya. Meskipun arus dasar dari siklus karbon tidak berubah secara

signifikan, pada abad terakhir ini manusia telah meningkatkan jumlah CO_2 di udara dengan mengambil karbon yang telah terkunci di dalam tanah selama jutaan tahun – dalam bentuk minyak, batubara dan gas – dan melepaskannya ke atmosfer oleh pembakaran bahan bakar tersebut. (Janzen, H. 2004)



Gambar 2. Siklus Karbon

Sumber : Pearson Education. Inc, 2011

Mangrove memiliki kemampuan untuk menyerap dan menyimpan karbon dalam jumlah besar, menjadikannya sebagai salah satu solusi potensial untuk mitigasi perubahan iklim. Proses ini melibatkan akumulasi biomassa kayu, akumulasi kayu mati, sekuestrasi karbon tanah, serta produksi akar dan serasah. (Adame *et al.*, 2024)

Menurut Adame *et al* (2024) menuturkan bahwa di dalam ekosistem mangrove, siklus karbon melibatkan berbagai jalur, termasuk respirasi, transformasi melalui rantai makanan, dan ekspor karbon terlarut dan partikulat. Mangrove juga berperan dalam mengeluarkan karbon anorganik terlarut (DIC) ke perairan pesisir, yang dapat menyebabkan perairan pesisir tropis menjadi sumber CO_2 bagi atmosfer. Selain itu, mangrove menyumbang sekitar 30% dari penguburan karbon di semua margin benua di laut subtropis dan tropis (Alongi dan Mukhopadhyay, S. 2015).

2.2.2. Serapan Karbon

Sesuai kesepakatan pada CoP ke-3 Tahun 1997 yang dikenal dengan Kepakatan Protokol Kyoto, mekanisme penurunan emisi di antaranya melalui kegiatan Clean Development Mechanism (CDM). Negara emitter yang terdiri dari negara- negara dengan industri yang maju dalam periode Tahun 2008 sampai 2012 ditargetkan menurunkan emisi ekuivalen karbon dioksida (CO₂) minimal sebesar lima persen dari kuota emisi Tahun 1990 sebesar 13,73 Gt. Negara emitter mempunyai kewajiban untuk melakukan investasi di negara berkembang pada berbagai sektor untuk melakukan penurunan emisi. Negara emitter tetap melakukan kegiatan industri walaupun sepenuhnya tidak dapat melakukan mitigasi karbon di negara sendiri, tetapi dapat melakukan kegiatan penurunan emisi di negara yang sedang berkembang dengan kompensasi dalam bentuk Certified Emission Reduction atau CER (Murdiyarto, 2005).

Penyerapan karbon dalam menurunkan emisi harus nyata, terukur, berjangka panjang dan bersifat permanen, tidak menimbulkan kebocoran (*leakage*) dan emisi baru. Besarnya tambahan karbon dihitung dengan memperhatikan karbon yang tersedia sebelumnya (*baseline*) dengan memperkecil pelepasan karbon dari kebocoran (*leakage*) dan munculnya emisi baru, dengan kepermanenan pada jangka waktu tertentu (IGES, 2006).

Karbon menyusun 45-50 % berat kering dari pertumbuhan pohon. Sejak reaksi karbondioksida meningkat secara global di atmosfer akibat pembakaran bahan bakar fosil (minyak, gas, dan batubara) sehingga diketahui sebagai masalah lingkungan, para ekolog tertarik untuk menghitung jumlah karbon yang tersimpan di hutan. Hutan tropika mengandung biomassa dalam jumlah besar dan oleh karena itu hutan tropika mampu menyerap karbon dalam jumlah yang besar pula. Selain pada pohon hidup, karbon tersimpan pula dalam bahan yang sudah mati seperti serasah, batang pohon yang jatuh ke permukaan tanah, dan sebagai material sukar lapuk di dalam tanah.

Sumber emisi terbesar di Indonesia berasal dari dunia kehutanan, terutama deforestasi dan perubahan tata guna lahan. Perubahan tata guna

lahan yang mempengaruhi iklim global diperlihatkan oleh adanya perubahan lahan yang cukup berpengaruh terhadap penyerapan dan pantulan radiasi matahari dan kemampuan di ekosistem terestrial untuk mengakumulasikan unsur tersebut di dalam biomassa di atas tanah, yang mencakup serasah dan tumbuhan bawah dan biomassa di dalam tanah. (Amiruddin, 2008)

Karbondioksida (CO_2), metana (CH_4), nitrogen dioksida (N_2O), hidrofluorokarbon (HFC), perfluorokarbon (PFCs) dan sulfur hexafluoride (SF_6) mempunyai efek rumah kaca yaitu mengurangi jumlah radiasi gelombang panjang yang datang dari bumi dan menyebabkan suhu bumi meningkat. Mekanisme perubahan kandungan CO_2 di atmosfer memicu perubahan suhu global.

2.2.3. Perubahan Iklim / *Climate Change*

Perubahan iklim adalah fenomena global yang dipicu oleh kegiatan manusia terutama yang berkaitan dengan penggunaan bahan bakar fosil (BBF) dan kegiatan alih guna lahan. Perubahan iklim adalah fenomena yang semakin mendominasi diskusi global karena dampaknya yang luas terhadap lingkungan dan kehidupan manusia. Perubahan ini terutama disebabkan oleh emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari aktivitas manusia, seperti penggunaan energi fosil dan perubahan penggunaan lahan yang tidak sesuai (Fawzy *et al.*, 2020).

Sejak awal abad ke-20, aktivitas manusia, terutama pembakaran bahan bakar fosil (seperti batubara, minyak, dan gas), telah menyebabkan peningkatan tajam konsentrasi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer, terutama karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dan dinitrogen oksida (N_2O). Peningkatan konsentrasi gas-gas ini memperburuk efek rumah kaca, di mana gas-gas tersebut menangkap lebih banyak panas dari matahari, menyebabkan suhu permukaan Bumi meningkat secara signifikan. Fenomena ini dikenal sebagai pemanasan global, yang merupakan salah satu aspek dari perubahan iklim (*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), 2014).

Dampak perubahan iklim tidak hanya terbatas pada lingkungan fisik, tetapi juga mempengaruhi kesehatan manusia dan ekonomi global. Perubahan iklim dapat memperburuk masalah kesehatan yang ada, seperti penyakit menular, dan meningkatkan risiko kesehatan baru melalui peningkatan suhu dan perubahan pola cuaca ekstrem (Wu *et al.*, 2016).

Perubahan iklim berpengaruh besar terhadap ekosistem Bumi. Kenaikan suhu global menyebabkan perubahan pola cuaca yang ekstrem, termasuk peningkatan frekuensi dan intensitas cuaca ekstrem seperti gelombang panas, banjir, kekeringan, dan badai tropis. Keberagaman hayati juga terancam karena spesies-spesies yang tidak dapat beradaptasi dengan perubahan suhu atau cuaca yang cepat akan mengalami penurunan jumlah individu atau bahkan kepunahan. Perubahan iklim juga berdampak langsung pada ketahanan pangan global, karena perubahan suhu dan pola hujan mengganggu produksi pertanian, yang dapat menyebabkan kelangkaan pangan dan peningkatan harga pangan di seluruh dunia (Schmidhuber dan Tubiello, 2007).

Pada tahun 2015, Kesepakatan Paris berhasil dirancang untuk menetapkan komitmen global guna membatasi pemanasan global tidak melebihi 2°C di atas tingkat pra-industri, dengan upaya untuk mencapai pembatasan 1,5°C. Meskipun demikian, tantangan besar tetap ada dalam hal implementasi kebijakan tersebut, terutama terkait dengan perbedaan antara negara-negara maju dan negara berkembang dalam hal tanggung jawab dan kapasitas untuk mengurangi emisi (UNFCCC, 2015). Oleh karena itu, perlu adanya kerjasama internasional yang lebih kuat serta kebijakan yang lebih inklusif dan adil dalam menghadapi perubahan iklim.

Kesadaran dan tindakan terhadap perubahan iklim juga dipengaruhi oleh persepsi individu dan pengalaman pribadi dengan peristiwa cuaca ekstrem. Meskipun perubahan iklim sering kali dianggap sebagai ancaman yang abstrak dan jangka panjang, pengalaman langsung dengan peristiwa cuaca ekstrem dapat meningkatkan kekhawatiran dan mendorong tindakan untuk memitigasi dampaknya. Oleh karena itu, penting untuk meningkatkan kesadaran publik dan mempromosikan tindakan yang dapat membantu

mengurangi emisi gas rumah kaca dan mempersiapkan diri menghadapi konsekuensi perubahan iklim (Bergquist *et al.*, 2019)

Mangrove berfungsi sebagai penyerap karbon yang efektif karena memiliki struktur akar yang kompleks dan biomassa yang tinggi. Karbon yang diserap selama fotosintesis disimpan dalam berbagai kompartemen, termasuk akar, batang, dan daun, (Emrinelson dan Warningsih, 2023). Mangrove tidak hanya berfungsi sebagai penyimpan karbon tetapi juga berperan dalam mengurangi emisi gas rumah kaca. Dengan kemampuannya untuk menyerap CO₂ dari atmosfer, mangrove membantu mengurangi konsentrasi gas rumah kaca yang menyebabkan pemanasan global (Alviana *et al.*, 2023).

Ekosistem mangrove merupakan salah satu ekosistem pesisir yang memiliki peran penting dalam siklus karbon global. Mangrove mampu menyerap dan menyimpan karbon dalam jumlah yang signifikan melalui proses fotosintesis dan akumulasi bahan organik di biomassa serta sedimen bawahnya. Penelitian menunjukkan bahwa mangrove dapat menyimpan karbon hingga empat kali lebih banyak dibandingkan dengan ekosistem darat seperti hutan tropis (Donato *et al.*, 2011). Mangrove merupakan ekosistem pesisir yang memiliki kapasitas besar dalam menyimpan karbon organik, yang dikenal sebagai '*Blue Carbon*'. Ekosistem ini menyimpan karbon dalam jumlah yang lebih besar per unit area dibandingkan dengan ekosistem lainnya, kecuali tundra dan lahan gambut. Mangrove berperan penting dalam mitigasi perubahan iklim dengan menyimpan karbon dalam jumlah besar di biomassa hidup dan detritus.

Estimasi simpanan karbon di ekosistem mangrove melibatkan pengukuran stok karbon di berbagai komponen, seperti biomassa, serasah, dan sedimen. Metode ini penting untuk memberikan gambaran kuantitatif tentang kontribusi mangrove dalam pengurangan emisi gas rumah kaca. Sebagai salah satu strategi mitigasi perubahan iklim, pelestarian dan rehabilitasi ekosistem mangrove dapat membantu mengurangi emisi karbon secara signifikan. Kontribusi ini sangat relevan dalam konteks Perjanjian

Paris, yang mendorong negara-negara untuk meningkatkan penyerapan karbon melalui solusi berbasis ekosistem (UNFCCC, 2015).

2.2.4. Peranan Hutan Sebagai Penyerap Karbon

Peranan hutan sebagai penyerap karbon mulai menjadi sorotan pada saat bumi dihadapkan pada persoalan efek rumah kaca, berupa kecenderungan peningkatan suhu udara atau biasa disebut sebagai pemanasan global. Penyebab terjadinya pemanasan global ini adalah adanya peningkatan konsentrasi Gas Rumah Kaca (GRK) di atmosfer di mana peningkatan ini menyebabkan kesetimbangan radiasi berubah dan suhu bumi menjadi lebih panas.

Hutan berperan dalam upaya peningkatan penyerapan CO₂ di mana dengan bantuan cahaya matahari dan air dari tanah, vegetasi yang berklorofil mampu menyerap CO₂ dari atmosfer melalui proses fotosintesis. Hasil fotosintesis ini antara lain disimpan dalam bentuk biomassa yang menjadikan vegetasi tumbuh menjadi makin besar atau makin tinggi. Pertumbuhan ini akan berlangsung terus sampai vegetasi tersebut secara fisiologis berhenti tumbuh atau dipanen. Secara umum hutan dengan “*net growth*” (terutama dari pohon-pohon yang sedang berada pada fase pertumbuhan) mampu menyerap lebih banyak CO₂, sedangkan hutan dewasa dengan pertumbuhan yang kecil hanya menyimpan stok karbon tetapi tidak menyerap CO₂ berlebih. Dengan adanya hutan yang lestari maka jumlah karbon (C) yang disimpan akan semakin banyak semakin lama. Oleh karena itu, kegiatan penanaman vegetasi pada lahan yang kosong atau merehabilitasi hutan yang rusak akan membantu menyerap kelebihan CO₂ di atmosfer (Adinugroho, *et al.*, 2009).

Tanaman atau pohon berumur panjang yang tumbuh di hutan maupun di kebun campuran (agroforestri) merupakan tempat penimbunan atau penyimpanan karbon yang jauh lebih besar dari pada tanaman semusim. Oleh karena itu, hutan alami dengan keragaman jenis pepohonan berumur panjang dan serasah yang banyak merupakan gudang penyimpanan karbon tertinggi. Hutan juga melepaskan CO₂ ke udara lewat respirasi dan dekomposisi serasah, namun pelaksanaannya terjadi secara bertahap, tidak

sebesar bila ada pembakaran yang melepaskan CO₂ sekaligus dalam jumlah yang besar. Bila hutan diubah fungsinya menjadi lahan-lahan pertanian atau perkebunan maka jumlah karbon yang tersimpan akan merosot.

Hairiah dan Rahayu (2007) juga menyatakan bahwa jumlah karbon tersimpan antar lahan berbeda-beda, tergantung pada keragaman dan kepadatan tumbuhan yang ada, jenis tanahnya serta cara pengelolaannya. Penyimpanan karbon suatu lahan menjadi lebih besar bila kondisi kesuburan tanahnya baik, atau dengan kata lain jumlah karbon tersimpan di atas tanah (biomassa tanaman) ditentukan oleh besarnya jumlah karbon tersimpan di dalam tanah atau bahan organik tanah (BOT).

2.3. Mangrove

Mangrove merupakan suatu kelompok jenis tumbuhan yang tumbuh pada sepanjang garis pantai yang memiliki kandungan garam dengan reaksi tanah anaerob (Aswenty, 2021). Hutan mangrove merupakan tipe hutan tropika dan subtropika yang khas, tumbuh di sepanjang pantai atau muara sungai yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut (Julaikha dan Sumiyati, 2017). Hutan mangrove juga suatu ekosistem yang berada di area pasang surut wilayah pesisir, maka demikian mangrove memiliki potensi sumber daya alam yang sangat potensial (Niapele *et al.*, 2017). Hutan mangrove adalah hutan yang dapat tumbuh di daerah pesisir pantai atau hutan yang dekat dengan muara sungai. Hutan ini merupakan hutan yang dipengaruhi oleh keberadaan pasang surut air laut. Mangrove dapat dijumpai di wilayah tropis dan subtropis yang terlindungi dari hamparan ombak (Warsidi, 2017).

Mangrove adalah suatu komunitas tumbuhan atau suatu individu jenis tumbuhan yang membentuk komunitas tersebut di daerah pasang surut, hutan mangrove atau yang sering disebut hutan bakau merupakan sebagian wilayah ekosistem pantai yang mempunyai karakter unik dan khas dan memiliki potensi kekayaan hayati. Ekosistem mangrove adalah suatu sistem yang terdiri atas lingkungan biotik dan abiotik yang saling berinteraksi di dalam suatu habitat mangrove (Qodarriah, 2017). Jenis mangrove yang banyak di temukan di Indonesia antara lain adalah jenis api-api (*Avicennia* sp.), bakau (*Rhizophora* sp.),

tanjang dan bogem atau pedada (*Sonneratia* sp.), merupakan tumbuhan mangrove utama yang banyak dijumpai. Jenis- jenis mangrove tersebut adalah kelompok mangrove yang menangkap, menahan endapan dan menstabilkan tanah habitatnya (Irwanto, 2006). Asia Tenggara merupakan rumah bagi 42 spesies pohon dan semak yang tidak ditemukan di tempat lain (Giesen *et al.*, 2006).

2.3.1. Fungsi Mangrove

Hutan mangrove mempunyai beberapa fungsi diantaranya, fungsi sosio-ekologis, sosio-ekonomis, dan sosio-kultural (Latupapua *et al.*, 2019). Menurut Idris *et al* (2018), secara garis besar fungsi ekonomis mangrove merupakan sumber pendapatan bagi masyarakat, industri maupun bagi negara. Perhitungan nilai ekonomi sumberdaya mangrove adalah suatu upaya melihat manfaat dan biaya dari sumber daya dalam bentuk ekonomi yang mempertimbangkan lingkungan. Nilai ekonomi total merupakan instrumen yang dianggap tepat untuk menghitung keuntungan dan kerugian bagi kesejahteraan rumah tangga sebagai akibat dari pengalokasian sumberdaya alam (Oktawati *et al.*, 2018). Hutan mangrove merupakan sumberdaya alam yang penting di lingkungan pesisir dan memiliki fungsi utama yaitu:

1. Fungsi Ekonomis
 - a. Hasil berupa kayu (kayu konstruksi, kayu bakar, arang, serpihan kayu untuk bubur kayu, tiang atau pancang)
 - b. Hasil bukan kayu yakni hasil hutan ikutan (produk nipah, obat-obatan, perikanan, jasa kesehatan lingkungan dan jasa lingkungan langsung ataupun tidak langsung)
2. Fungsi Ekologi, yang terdiri atas berbagai fungsi perlindungan lingkungan ekosistem daratan dan lautan maupun habitat berbagai jenis fauna, diantaranya:
 - a. Penahan abrasi dari gelombang atau angin kencang.
 - b. Pengendalian intrusi air laut ke daratan.
 - c. Habitat berbagai jenis.

- d. Sebagai tempat mencari, memijah, dan berkembang biak berbagai jenis ikan dan udang.
- e. Pembangunan lahan melalui proses sedimentasi.
- f. Memelihara kualitas air.

Melihat lebih jauh bahwa pentingnya hutan mangrove bagi keberlangsungan makhluk hidup serta menghindari luasnya kerusakan hutan mangrove, oleh sebab itu untuk mempertimbangkan kelestariannya memerlukan suatu perencanaan pengelolaan. Segala potensi yang ada, baik berupa produk dan jasa lingkungan, harus digali seluas-luasnya secara bijaksana dan terencana untuk memberikan manfaat pada manusia dan pembangunan.

Wilayah pesisir merupakan kawasan yang sangat penting bagi hampir 60% penduduk Indonesia yang tinggal dan beraktivitas di wilayah ini. Salah satu sumber daya alam yang cukup penting dalam ekosistem pesisir adalah ekosistem mangrove. Ekosistem mangrove diketahui memiliki fungsi ganda dalam memelihara keseimbangan siklus biologi dalam suatu perairan laut, yaitu manfaat ekologis dan manfaat ekonomis (Nasution, 2023).

2.3.2. Manfaat Mangrove

Hutan mangrove merupakan sumber daya alam yang memiliki manfaat yang sangat luas baik dari aspek sosial, ekonomi, dan ekologi. Besarnya peranan hutan mangrove bagi kehidupan dapat diketahui dari banyaknya jenis flora fauna yang hidup dalam ekosistem perairan dan daratan yang membentuk ekosistem mangrove. Potensi sumber daya alam yang sangat besar membutuhkan pengelolaan yang baik, sehingga pemanfaatannya dapat berlangsung secara berkesinambungan (Fadhila *et al.*, 2015).

Hutan mangrove memiliki berbagai fungsi, fungsi ekologis dari hutan mangrove yang terutama yaitu sebagai perlindungan garis pantai dan makhluk hidup dari tsunami dan angin, mencegah terjadinya salinasi, dan sebagai habitat bagi biota perairan. Fungsi ekonomi dari hutan mangrove yaitu hasil hutannya yang dapat dimanfaatkan, berupa kayu bangunan, kayu

bakar, bahan kertas, hasil hutan bukan kayu, serta sebagai kawasan wisata alam pantai. Fungsi sosio-kultural dari hutan mangrove yaitu sebagai upaya untuk melestarikan keterkaitan hubungan sosial dengan masyarakat lokal (Latupapua *et al.*, 2019).

Hutan mangrove memiliki manfaat ekologi yaitu sebagai tempat pemijahan (*spawning ground*), daerah asuhan (*nursery ground*), daerah mencari makan (*feeding ground*) bagi makhluk hidup disekitarnya dan penyedia pakan bagi biota laut, seperti udang dan kepiting. Hasil dari hutan mangrove baik kayu maupun nonkayu dimanfaatkan masyarakat sebagai bahan makanan maupun kayu bakar sehingga memberi kontribusi dalam upaya peningkatan kondisi ekonomi masyarakat. Namun sering kali, pemanfaatan hutan mangrove kurang mempertimbangkan aneka produk dan jasa yang dapat dihasilkan. Masyarakat hanya menilai hutan mangrove dari segi ekonominya saja, tanpa memperhitungkan manfaat fisik dan ekologi dari hutan mangrove (Indrian *et al.*, 2014).

Nilai keseluruhan ekosistem mangrove hingga kini tidak mudah dikenali, sehingga sering diabaikan dalam suatu perencanaan pengembangan wilayah pesisir. Ketidaktahuan akan nilai fungsi dan manfaat ekosistem mangrove disebabkan karena barang dan jasa yang dihasilkan oleh ekosistem mangrove wujudnya tidak diperdagangkan di pasar, sehingga tidak memiliki nilai yang dapat dinikmati secara langsung (Fadhila *et al.*, 2015).

2.4. Pengukuran Biomassa Dengan Persamaan Allometrik

Menurut Brown (1997) besarnya karbon tersimpan mencapai 50% dari nilai biomasanya. Ditegaskan juga oleh Sutaryo (2009) yang menyatakan bahwa dari keseluruhan karbon hutan, sekitar 50% diantaranya tersimpan dalam vegetasi hutan. Hal ini menunjukkan pentingnya mengetahui nilai biomassa dalam menentukan besaran pendugaan cadangan karbon pada suatu kawasan hutan. Untuk mengukur besarnya biomassa tersimpan di atas permukaan tanah dapat menggunakan persamaan allometrik ataupun dengan cara destruktif.

Analisis estimasi biomassa dan stok karbon mangrove yang dilakukan dengan metode non-destruktif menggunakan pendekatan allometrik telah banyak dikaji oleh para peneliti. Komiyama *et al* (2005) menjelaskan bahwa persamaan allometrik merupakan suatu metode yang digunakan dalam mengukur biomassa dan karbon pohon mangrove dengan cara mengukur diameter pohon tanpa perlu melakukan pemanenan atau pemotongan pohon, sehingga meminimalkan kerusakan ekosistem (Kauffman dan Donato, 2012).

Persamaan allometrik didefinisikan sebagai suatu studi dari suatu hubungan antara pertumbuhan dan ukuran salah satu bagian organisme dengan pertumbuhan atau ukuran dari keseluruhan organisme. Dalam studi biomassa hutan atau pohon persamaan allometrik digunakan untuk mengetahui hubungan antara ukuran pohon (diameter atau tinggi) dengan berat (kering) pohon secara keseluruhan (Sutaryo, 2009). Keunggulan menggunakan persamaan allometrik diantaranya dapat mempersingkat waktu pengambilan data di lapangan, tidak membutuhkan banyak sumber daya manusia (SDM), mengurangi biaya dan mengurangi kerusakan pohon (Tresnawan dan Rosalina, 2002).

Model allometrik biomassa merupakan model statistika untuk menduga biomassa pohon berdasarkan diameter dan/atau tinggi pohon (Ketterings *et al.*, 2001) serta kerapatan kayu sebagai peubah penting dalam pendugaan biomassa di hutan tropis (Chave *et al.*, 2014). Oleh karena itu, untuk mendukung pendugaan biomassa dan cadangan karbon yang akurat diperlukan pengembangan model-model allometrik biomassa untuk berbagai jenis pohon dan lokasi tempat tumbuh.

2.5. Taman Wisata Alam

Pengertian taman wisata alam menurut UU No.5 Tahun 1990 tentang konservasi sumber daya alam hayati dan ekosistem adalah kawasan pelestarian alam yang terutama dimanfaatkan untuk pariwisata dan rekreasi alam. Kegiatan pariwisata yang dilaksanakan di taman wisata alam tidak boleh bertentangan dengan prinsip konservasi dan perlindungan alam. Karena pada hakikatnya taman wisata alam masuk dalam kawasan pelestarian alam. Berdasarkan Pasal 10 Peraturan Pemerintah No 28 Tahun 2011 Tentang Pengelolaan Kawasan Suaka Alam Dan Kawasan Pelestarian Alam, dinyatakan:

Kriteria suatu wilayah dapat ditunjuk dan ditetapkan sebagai kawasan taman wisata alam sebagaimana dimaksud dalam Pasal 4 ayat (2) huruf c meliputi:

- a. Mempunyai daya tarik alam berupa tumbuhan, satwa atau bentang alam, gejala alam serta formasi geologi yang unik;
- b. Mempunyai luas yang cukup untuk menjamin kelestarian potensi dan daya tarik alam untuk dimanfaatkan bagi pariwisata dan rekreasi alam; dan
- c. Kondisi lingkungan di sekitarnya mendukung upaya pengembangan pariwisata alam (Panata, 2019).

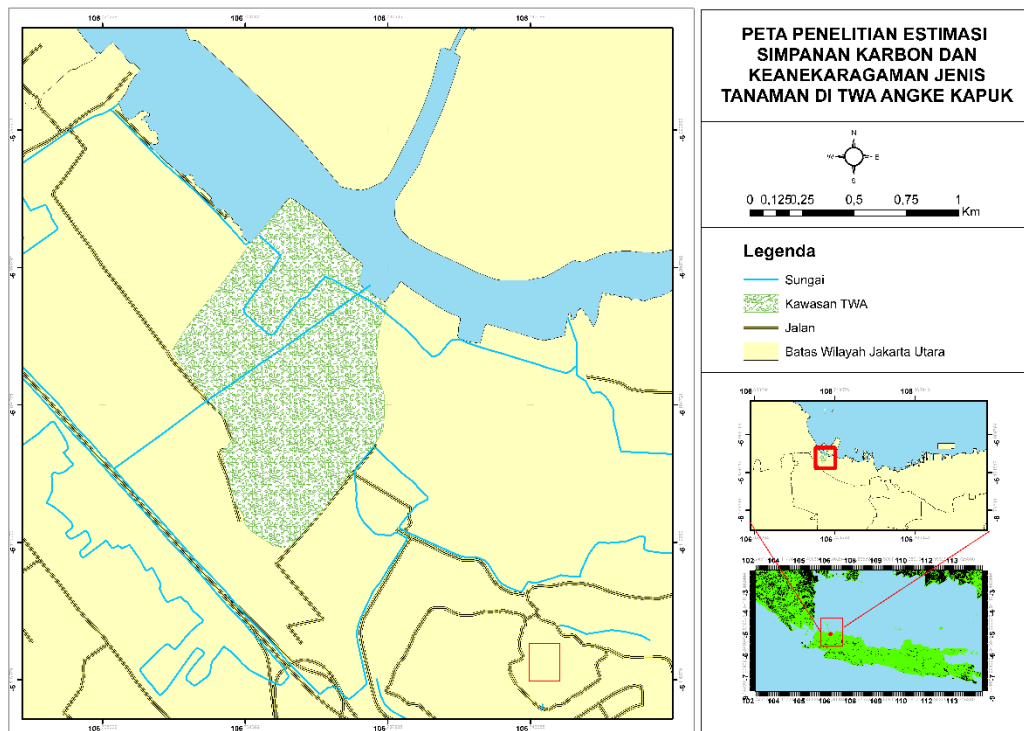
Manfaat dan fungsi Taman Wisata Alam Fungsi Taman Wisata Alam
Taman wisata alam memiliki fungsi antara lain:

1. Fungsi pelestarian Taman wisata alam berfungsi melindungi sistem penyangga kehidupan bagi daerah sekitar kawasan TWA.
2. Fungsi akademis Taman wisata alam berfungsi sebagai tempat pendidikan alam dan pengembangan ilmu pengetahuan.
3. Fungsi pariwisata Taman wisata alam berfungsi sebagai tujuan wisata dan rekreasi alam yang didukung oleh keindahan alam dan ekosistem kawasan itu sendiri.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Taman Wisata Alam Angke Kapuk memiliki luas kawasan sebesar 99,82 ha. Penelitian ini dilakukan kurang lebih 1 bulan yaitu mulai bulan Juli - Agustus 2024. Secara administratif kawasan Taman Wisata Alam Angke Kapuk (TWA AK) berlokasi di Jalan *Garden House*, Kamal Muara, Kec. Penjaringan, Jakarta Utara, Daerah Khusus Jakarta 14470 yang dapat dilihat pada Gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Peta Kawasan TWA AK

Langkah awal sebelum melakukan kegiatan pengukuran adalah menentukan jumlah minimal sampel yang mewakili luas dari keseluruhan lokasi penelitian. Penentuan jumlah minimal sampel plot penelitian ini dilakukan secara *sampling* dengan menggunakan rumus *Cochran* dengan *margin error* 15% sebagai berikut.

$$n = \frac{\frac{t^2 \cdot p \cdot q}{d^2}}{1 + \frac{1}{N} \left(\frac{t^2 \cdot p \cdot q}{d^2} - 1 \right)}$$

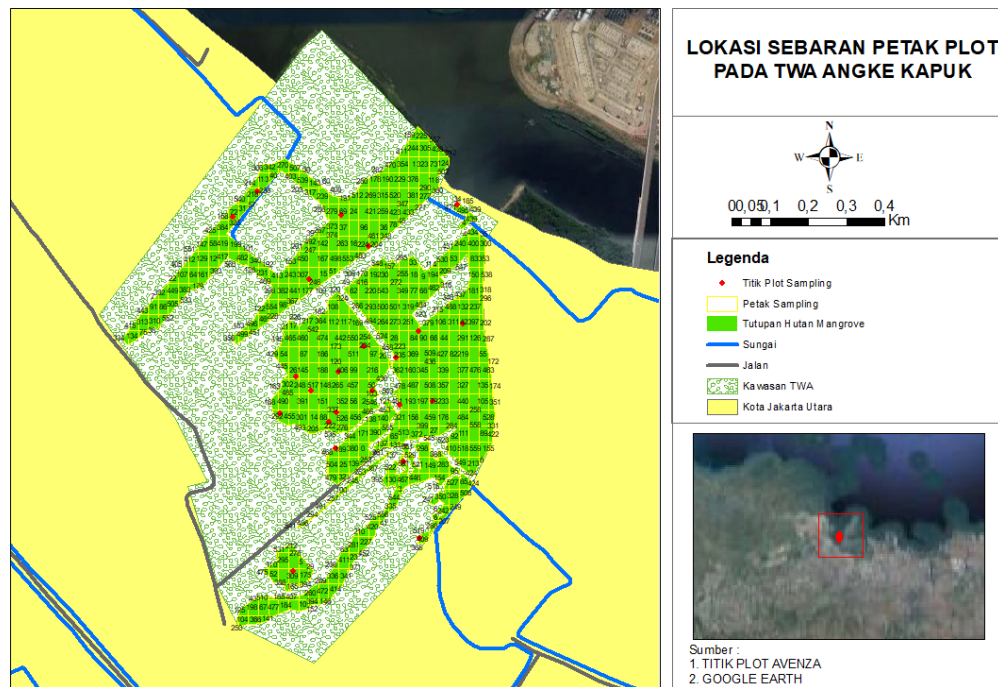
Keterangan:

- n = Jumlah sampel minimal
- N = Ukuran populasi
- t = Tingkat kepercayaan (digunakan 0,95 sehingga nilai t = 1,96)
- d = Taraf kekeliruan (digunakan 0,15)
- p = Proporsi dari karakteristik tertentu (golongan)
- q = 1 – p
- 1 = Bilangan Konstan

Langkah selanjutnya setelah menentukan areal hutan pada penelitian ini yang memiliki ukuran populasi 46,76 ha dengan taraf kekeliruan (*margin error*) yang digunakan sebesar 15% sehingga diperoleh minimal sampel sebanyak 23 titik. Sehingga 23 titik sampel dapat menduga atau mengestimasi simpanan karbon yang terkandung dalam 46,76 ha total keseluruhan areal dengan jumlah taraf kekeliruan (*Margin Error*) sebesar 15%. Tingkat persentase (%) toleransi kesalahan digunakan berdasarkan jumlah populasi. Menurut Sugiyono (2013), tingkat toleransi kesalahan 15% digunakan dengan dasar jumlah populasi tidak lebih dari 2000.

Jumlah sampel yang ada kemudian disebar secara acak melalui metode fishnet/pembuatan grid (garis khayal vertikal dan horizontal) berukuran 40 m x 40 m menggunakan software ArcGIS. Setiap kotak grid hanya berisikan 1 titik sampel plot lingkaran dengan radius 11,29 m (pohon dewasa) dan 3 sub plot di dalamnya dengan radius 5,64 m (tiang), radius 2.82 m (pancang) dan radius 1,13

m (semai) yang di pilih secara acak (*randomize sampling*). Lakukan pengambilan sampel di setiap titik sampel didalam grid berukuran 40 m x 40 m dengan menitikan setiap koordinat lokasi petak plot. Selanjutnya lakukan setiap jenis tumbuhan dan lakukan pengukuran diameter pohon (DBH), tinggi pohon dan jumlah individu species di setiap plot.



Gambar 4. Lokasi Sebaran Petak Sampel pada Kawasan TWA AK

3.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan di lapangan dalam penelitian ini adalah:

1. *Roll meter* atau pita ukur
2. Tali rafia
3. Gps (*Global Positioning System*) atau Aplikasi Avenza
4. *Software* ArcGIS
5. Alat Tulis Kantor
6. Kamera dan *Smartphone*
7. Laptop

Bahan yang digunakan di lapangan dalam penelitian ini adalah :

1. *Tally sheet*
2. Peta.

3.3. Jenis Data dan Teknik Pengambilan Data

Data yang diperoleh pada penelitian ini berupa data primer dan data sekunder.

a. Data Primer

Melakukan pengumpulan data sample pohon menggunakan metode *non destructive sampling*. Pengukuran biomassa karbon dengan pendugaan biomassa tegakan pada mangrove menggunakan persamaan rumus allometrik (Chave *et al.*, 2005 dan Komiyama *et al.*, 2008) untuk mengetahui estimasi cadangan karbon pada mangrove bisa dilakukan dengan menggunakan metode *non destructive sampling* yaitu metode yang digunakan untuk menduga biomassa vegetasi yang berdiameter lebih dari 5 cm.

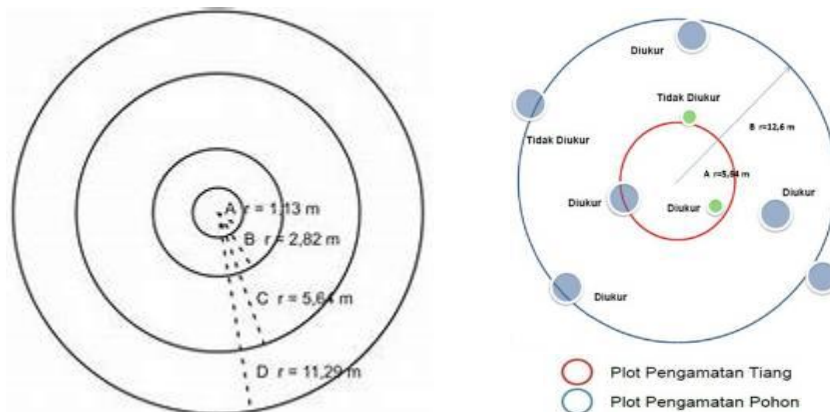
b. Data Sekunder

Data yang diperoleh berupa gambaran umum lokasi penelitian baik secara luas kawasan kondisi fisik, sosial, dan sejarah kawasan serta mempelajari buku dan studi pustaka yang menunjang dan berkaitan dengan penelitian.

3.3.1. Metode Pengambilan Data

Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan teknik sampling. Untuk menghitung total cadangan karbon dari tutupan atau penggunaan lahan didasarkan pada kandungan biomassa vegetasi tegakan Hutan Mangrove. Penentuan letak plot contoh pengukuran simpanan karbon dilakukan pada masing-masing penutupan lahan dengan Ukuran plot lingkaran dengan radius 11,29 m untuk tiap tingkatan pertumbuhan tegakan (pohon) pada vegetasi Hutan Mangrove.

Bentuk plot untuk pengambilan sampel pada masing-masing tingkatan dapat dilihat pada Gambar 5.



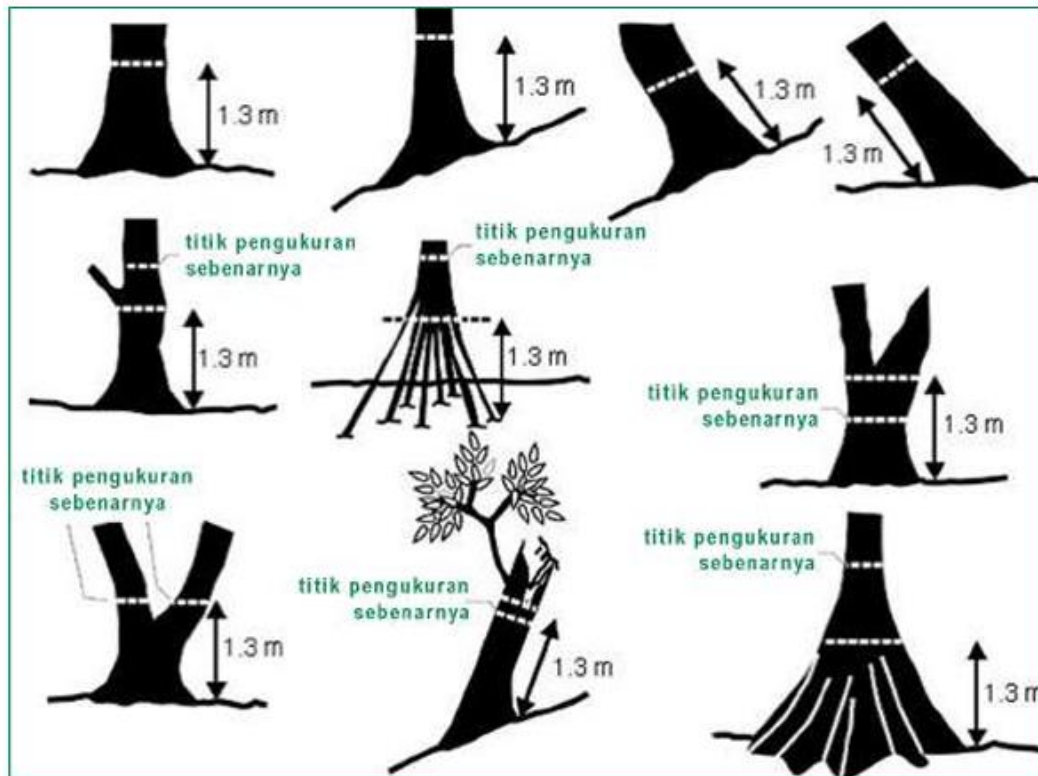
Sumber : SNI 7724 (2019)

Gambar 5. Bentuk Plot Pengambilan Sampel

Keterangan :

- A. : Sub plot untuk semai, serasah, tumbuhan bawah
- B. : Sub plot untuk pancang
- C. : Sub plot untuk tiang
- D. : Sub plot untuk pohon

Pengukuran DBH pada batang diukur dengan beberapa cara sesuai dengan kondisi tumbuhnya vegetasi tersebut. Pada penelitian ini prosedur pengukuran DBH dapat diukur dengan 5 cara sesuai dengan kondisi masing-masing batang. Prosedur pengukuran batang dapat dilihat pada Gambar 5 dibawah ini.



Sumber : Tropenbos Indonesia (2020)

Gambar 6. Prosedur Pengukuran DBH Pada Batang Utama

Keterangan:

1. Diameter batang diukur pada 1,3 m di atas permukaan tanah dari sisi tertinggi bentuk pohon.
2. Diameter batang diukur secara terpisah masing-masing 1,3 m di atas tanah dari jika sisi bentuk pohon bercabang.
3. Diameter batang diukur pada 0,2 m di atas titik dimana benjolan berakhir.
4. Diameter batang diukur pada 0,2 m dimana banir berakhir.
5. Diameter batang diukur 0,2 meter dari batas atas akar penunjang.

3.3.2. Teknik Pengambilan Data

Adapun teknik pengumpulan data sebagai berikut :

- a. Pengumpulan data primer yaitu data yang diperoleh secara langsung di lapangan dengan menggunakan metode survey.

- b. Pengumpulan data sekunder yaitu berkaitan dengan luasan lokasi penelitian, peta lokasi penelitian.

Pengambilan data primer dilakukan secara non destruktif. Pengukuran biomassa vegetasi tegakan pada hutan mangrove dilakukan berdasarkan persamaan allometrik dengan cara mengukur diameter dan tinggi vegetasi. Adapun klasifikasi vegetasi dalam hutan mangrove yaitu Pohon dengan diameter lebih dari 5 cm.

3.4. Analisis Data

Teknik analisis data dalam penelitian ini menggunakan analisis deskriptif dan kuantitatif dengan menggunakan persamaan matematis dari beberapa persamaan allometrik penelitian-penelitian sebelumnya. Data yang diperoleh kemudian dipublikasikan dalam bentuk tabulasi sederhana.

3.4.1. Perhitungan Biomassa

Pada tahapan pengukuran biomassa pohon dilakukan sebagai berikut:

- 1) Identifikasi nama jenis pohon
- 2) Pengukuran diameter pohon
- 3) Catat data keliling dan nama jenis pohon ke dalam tally sheet;
- 4) Hitung biomassa

Biomassa pohon dihitung dengan menggunakan Rumus Nilai Koefisien allometrik (a dan b) untuk perhitungan biomassa bagian atas permukaan berdasarkan spesies pohon dengan menggunakan rumus perhitungan $Y = a \cdot D^b$ yang telah banyak digunakan oleh peneliti-peneliti sebelumnya yang pengukurannya diawali dengan menebang dan menimbang pohon.

Adapun rumus persamaan Allometrik yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut :

Tabel 1. Rumus Persamaan Allometrik Pada Vegetasi Mangrove

Jenis Species	Persamaan Allometrik	Sumber
<i>Avicennia alba</i>	$B = 0,079211 * D^{2,470895}$	Tue <i>et al.</i> , 2014
<i>Avicennia marina</i>	$B = 0.1848 * D^{2,3524}$	Dharmawan dan siregar, 2008
<i>Rhizophora apiculata</i>	$B = 0,043 * D^{2,63}$	Amira, 2008
<i>Rhizophora mucronata</i>	$B = 0,1466 * D^{2,3136}$	Dharmawan, 2013
<i>Rhizophora stylosa</i>	$B = 0.105 * D^{2,68}$	Clough dan Scott, 1989
<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	$B = \rho * 0.0754 * D^{2,505}$	Kauffman <i>et al.</i> , 2012
Sengon (<i>Paraserianthes falcataria</i>)	$B = 0,0199 * (D^2 H)^{0,9296}$	Azhim dan Purwanto, 2009
Persamaan Umum	$B = 0.251 \rho * D^{2,46}$	Komiyama <i>et al.</i> , 2005
Tegakan Hutan Lembab	$B = \exp (-2.977 + \ln(\rho(D^2 H)))$	Chave <i>et al.</i> , 2005
Hutan Bakau Lembab	$B = 0,0509 * \rho D^2 H$	Chave <i>et al.</i> , 2005

Keterangan: B = Biomassa (kg); D = Diameter at breast height (cm); ρ = wood density (gr/cm²)

3.4.2. Perhitungan Karbon

a. Perhitungan Karbon Biomassa

Perhitungan karbon dari biomassa menggunakan rumus sebagai berikut

:

$$C_b = B \times \%C \text{ Organik}$$

Keterangan :

C_b : Kandungan karbon dari biomassa, dinyatakan dalam kilogram (kg)

B : Total biomassa dinyatakan dalam kilogram (kg)

%C Org : Nilai persentase kandungan karbon, sebesar 0,47 atau menggunakan nilai persen karbon yang diperoleh dari hasil pengukuran karbon (SNI 7724, 2019).

b. Perhitungan Cadangan Karbon Perhektar Pada Tiap Plot Sampel

Perhitungan cadangan karbon per hektar untuk biomassa di atas permukaan tanah dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$C_n = \frac{C_x}{L_p}$$

Keterangan :

- Cn : Kandungan karbon perhektar pada masing-masing *carbon pool* pada tiap plot sample (ton/ha).
 Cx : Kandungan karbon pada masing masing *carbon pool* pada tiap plot sampel (Kg).
 Lplot : Luas plot pada masing masing *carbon pool*, dinyatakan dengan meter persegi (m²). (SNI 7724,2019)

3.4.3. Indeks Nilai Penting (INP)

Indeks Nilai Penting (INP) yaitu parameter yang dapat dipakai untuk menyatakan tingkat dominansi spesies pada suatu komunitas tumbuhan. Berdasarkan persamaan kerapatan, frekuensi, dan dominansi tersebut, maka untuk menghitung besar INP suatu spesies pada fase pohon, tiang, dan pancang sebagai berikut.

$$\mathbf{INP = KR + FR + DR}$$

Keterangan :

- INP : Indeks Nilai Penting
 KR : Kerapatan Relatif
 FR : Frekuensi Relatif
 DR : Dominansi Relatif

3.4.4. Indeks Keanekaragaman Hayati (H')

Indeks keanekaragaman jenis menggambarkan bagaimana keadaan populasi secara matematis untuk mempermudah saat menganalisis mengenai jumlah individu masing-masing jenis pada suatu komunitas (Budi *et al.*, 2023).

Indeks keanekaragaman jenis digunakan untuk mengetahui tingkat keanekaragaman jenis.

$$pi = \frac{ni}{N}$$

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

Sumber : Shannon dan Wiener, (1963)

Keterangan:

H' = Indeks keanekaragaman jenis Shannon Wiener

N_i = Jumlah individu jenis ke-i

N = Jumlah individu seluruh jenis

P_i = Proporsi individu jenis ke-i

Kategori indeks keanekaragaman jenis dibagi menjadi 3 kategori, yaitu:

H' < 1 = Keanekaragaman rendah

1 < H' < 3 = Keanekaragaman sedang

H' > 3 = Keanekaragaman tinggi

3.4.5. Indeks Kemerataan Jenis (E)

Indeks kemerataan jenis menunjukkan derajat kelimpahan suatu individu di setiap spesies yang ditemui. Indeks kemerataan jenis dihitung untuk mengetahui derajat kemerataan jenis pada lokasi penelitian. Besarnya indeks kemerataan dengan rumus sebagai berikut.

$$E = \frac{H'}{\ln S}$$

Sumber : Ludwig dan Reynolds, (1988)

Keterangan:

E = Indeks kemerataan jenis

H' = Indeks keanekaragaman Shannon Wiener

S = Jumlah jenis yang ditemukan

Kategori indeks kemerataan jenis dibagi menjadi 3 kategori, yaitu:

0 < E < 0,50 = Komunitas tertekan

0,50 < E < 0,75 = Komunitas labil

0,75 < E < 1 = Komunitas stabil

3.4.6. Indeks Kekayaan Jenis (R)

Kekayaan jenis adalah jumlah jenis (spesies) dalam suatu komunitas. Semakin banyak jumlah jenis yang ditemukan, maka indeks kekayaannya juga semakin besar. Indeks kekayaan Margalef membagi jumlah spesies dengan fungsi logaritma natural yang mengindikasikan bahwa penambahan jumlah spesies berbanding terbalik dengan penambahan jumlah individu. Hal ini juga menunjukkan bahwa biasanya pada suatu komunitas atau ekosistem yang memiliki banyak spesies akan memiliki sedikit jumlah individunya pada setiap spesies tersebut (Ismaini *et al.*, 2015).

$$R = \frac{(S - 1)}{\ln N}$$

Sumber : Magurran (1988)

Keterangan :

R : Indeks Kekayaan Jenis

S : Jumlah spesies yang ditemukan

N : Jumlah total individu pada lokasi

Kriteria :

Jika nilai $R < 3,5$ menunjukkan kekayaan jenis yang tergolong rendah.

Jika nilai R 3,5–5,0 menunjukkan kekayaan jenis tergolong sedang.

Jika nilai $R > 5,0$ menunjukkan kekayaan jenis yang tergolong tinggi.

3.4.7. Analisis Statistik

Analisis statistik dilakukan guna mengetahui interval dari nilai estimasi simpanan karbon dan *sampling error* pada penelitian yang menggunakan metode sampling. Perhitungan emisi cadangan karbon terdapat banyak sumber ketidakpastian, hal ini disebabkan karena parameter data aktivitas dan faktor emisi bukan merupakan besaran yang diketahui secara pasti (Kementrian ESDM, 2018). Oleh karena itu, nilai cadangan karbon tidak dapat ditentukan secara absolut, artinya terdapat kemungkinan nilai cadangan karbon tidaklah 100% benar. Analisis statistik pada setiap

sumber karbon untuk menentukan mengenai nilai dugaan pada selang kepercayaan 95% (Krisnawati *et al.*, 2015).

Sampling error atau kesalahan sampling dalam suatu penelitian merupakan suatu kesalahan yang disebabkan oleh teknik pengambilan sampel yang dilakukan (Rawung, 2020). *Sampling error* adalah variasi yang terjadi ketika sampel yang diambil dari populasi tidak sepenuhnya mewakili populasi tersebut. Ini adalah bagian dari ketidakpastian statistik yang muncul karena sampel mungkin tidak berperilaku sama persis dengan populasi yang lebih besar dari mana sampel tersebut diambil (Altman dan Bland, 2014)

Sampling error terjadi ketika nilai sampel menyimpang dari nilai populasi. Ini diukur secara statistik dalam bentuk *standard error*, yang digunakan untuk menentukan interval kepercayaan guna mengukur akurasi estimasi sampel. *Sampling error* adalah perhatian utama bagi ahli statistik karena setiap sampel yang diambil adalah salah satu dari banyak kemungkinan sampel dari populasi yang diminati (Khadka, 2019)

Statistika pada penelitian ini berisi mengenai rerata (*mean*), standar deviasi, jumlah sampel, nilai maksimum dan minimum. Analisis Statistika yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Analisis Statistik Nilai Ketidakpastian dari Faktor Cadangan Karbon

Forest Cover type	Statistical Analysis							
	Mean/Mj	Standard Deviation/SD	Sample (n)	t-stat at 95% (t)	Confidence Interval	Lower Bound	Upper Bound	Sampling Error (%)
Forest type-j	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_i$	$\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (M_i - M_j)^2}$	23	2,074	$\frac{SD \times t}{\sqrt{n}}$	$M_j - CI$	$M_j + CI$	$\frac{CI}{M_j} \times 100$

M_i adalah jumlah stok karbon (dalam MgC/ha/tahun) dari plot-i di tipe tanaman ke-j, n adalah jumlah plot ditiap tanaman ke-j

Sumber: KLHK Direktorat Konservasi Tanah dan Air Forest Programme II

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Hasil Perhitungan Indeks Nilai Penting (INP) di lokasi penelitian Taman Wisata Alam Angke Kapuk (TWAAK) untuk fase pohon yang tertinggi terdapat pada jenis individu Api-api Hitam (*Avicennia alba*) sedangkan untuk yang terendah Pete Cina (*Leucaena leucocephala*) Untuk fase tiang yang tertinggi terdapat pada jenis individu Api-api Putih (*Avicennia marina*) terendah pada Kelengkeng (*Nephelium longan*). Selanjutnya pada fase pancang yang tertinggi pada Anggur Laut (*Coccoloba uvifera*) dan terendah Mengkudu (*Morinda citrifolia*), kemudian pada fase semai tertinggi yaitu Api-api Hitam (*Avicennia alba*) dan terendah terdapat pada 3 jenis individu yaitu Ketapang Laut (*Terminalia catappa*), Nipah (*Nypa fruticans*) dan Pete Cina (*Leucaena leucocephala*)
2. Hasil perhitungan Indeks Keanekaragaman Hayati (H') di lokasi penelitian diperoleh nilai sebesar 0,72 (kategori rendah). Untuk jumlah individu yang terdapat pada kawasan Taman Wisata Alam Angke Kapuk (TWAAK) sebanyak 491 individu. Untuk hasil nilai Indeks Kemerataan Jenis (E) pada lokasi penelitian didapatkan nilai (E) sebesar 0,67 yang tergolong kedalam kemerataan labil/cukup merata. Kemudian untuk hasil nilai Indeks Kekayaan Jenis (R) yang diperoleh di lokasi penelitian yaitu sebesar 0,71 yang tergolong kekayaan jenis rendah.
3. Cadangan karbon mangrove di atas permukaan tanah dari vegetasi mangrove di Kawasan Taman Wisata Alam Angke Kapuk (TWAAK) memiliki estimasi simpanan karbon dengan rerata sebesar 62,9 tC/ha

dengan interval nilai berkisar antara 53,02 tC/ha sampai 72,69 tC/ha serta memiliki *sampling error* sebesar 15,64%.

5.2. Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mengetahui estimasi simpanan karbon dengan nilai *sampling error* (SE) yang lebih kecil untuk dapat menghasilkan nilai simpanan karbon yang lebih akurat di lapangan. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut di kawasan Taman Wisata Alam Angke Kapuk (TWAAK) dengan jumlah petak plot lebih banyak sehingga nilai indeks keanekaragaman jenis, pemerataan dan kekayaan jenis tumbuhan yang diperoleh lebih bervariasi lagi, selain itu perlu juga diteliti untuk 4 *Carbon Pool* seperti serasah, sedimentasi, nekromassa dan biomassa bawah permukaan (BBP) untuk mendapatkan nilai simpanan karbon pada lokasi tersebut lebih lengkap.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrahman, U., Pratyaksa, I. F., Nur, A. A., Jeon, C. K., Radjawane, I. M., Park, H. S. 2024. Mangrove mapping and carbon stock estimation at Taman Wisata Alam Mangrove, Angke Kapuk, North Jakarta, Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1410(1).
- Adame, M., Cormier, N., Taillardat, P., Iram, N., Rovai, A., Sloey, T., Yando, E., Blanco-Libreros, J., Arnaud, M., Jennerjahn, T., Lovelock, C., Friess, D., Reithmaier, G., Buelow, C., Muhammad-Nor, S., Twilley, R., Ribeiro, R. 2024. Deconstructing the mangrove carbon cycle: Gains, transformation, and losses. *Ecosphere*.
- Adinugroho, W.C., Syahbani, I., Rengku, M.T., Arifin, Z., Mukhaidil. 2006. *Pendugaan karbon dalam rangka pemanfaatan fungsi hutan sebagai penyerap karbon*. Samboja : Balai Penelitian Kehutanan Samboja.
- Agus, D., Kusmana, C., Ramadhan. 2014. Strategi pengelolaan hutan lindung Angke Kapuk. *Jurnal Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan*. 4 (1): 35-42.
- Alongi, D., Mukhopadhyay, S. 2015. Contribution of mangroves to coastal carbon cycling in low latitude seas. *Agricultural and Forest Meteorology*. 213: 266-272.
- Altman, D., Bland, J. 2014. Uncertainty and sampling error. *BMJ : British Medical Journal*. 349.
- Alviana, D., Anggraini, R., Hidayati, J. R., Karlina, I., Lestari, F., Apdillah, D., Sihite, D. 2023. Estimasi cadangan karbon pada ekosistem mangrove di Desa Pengudang Kecamatan Teluk Sebong Kabupaten Bintan. *Jurnal Kelautan Tropis*. 26(3): 464-472.
- Amira S. 2008. Pendugaan biomassa jenis *Rhizophora apiculata* Bl di hutan mangrove Batu Ampar Kabupaten Kubu Raya, Kalimantan Barat. Skripsi. Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor. Bogor.

- Amiruddin S. 2008. *Kajian Potensi Cadangan Karbon pada Pengusahaan Hutan Rakyat*. Tesis. Sekolah Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Annisa, W., Muhamad, A. W., Khoe, S. K., Moh. Hamdani. Keanekaragaman jenis dan struktur komunitas mangrove di Kawasan Hutan Lindug dan Taman Wisata Alam Angke Jakarta Utara. *Jurnal ILMU DASAR*. 25(2): 129-134.
- Arbi, C. Y. 2012. Komunitas Moluska di Padang Lamun Pantai Wori, Sulawesi Utara. *Jurnal Bumi Lestari*. 12(1): 55–65.
- Ariani, E., Ruslan, M., Kurnain, A., Kissinger, K. Analisis Potensi Simpanan Karbon Hutan Mangrove di Area PT. Indocement Tunggul Prakarsa, Tbk P 12 Tarjun. *Enviro Scientiae*. 12(3): 312-329.
- Aswenty, M. 2021. *Keanekaragaman Mangrove di Kawasan Ekowisata Hutan Mangrove Petangoran, Gebang, Teluk Pandan, Pesawaran*. Doctoral Dissertation. Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung.
- Azhim, M.T., Purwanto, R.H. 2009. *Penaksiran kandungan karbon pada hutan rakyat jenis sengon*. Skripsi. Jurusan Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Baderan, D.W.K., Rahim, S., Angio, M., Salim, A.I. 2021. Keanekaragaman, pemerataan, dan kekayaan spesies tumbuhan dari geosite potensial banteng otanaha sebagai rintisan pengembangan geopark Provinsi Gorontalo. Al-Kaunyah: *Jurnal Biologi*.
- Bergquist, M., Nilsson, A., Schultz, W. 2019. Experiencing a Severe Weather Event Increases Concern About Climate Change. *Frontiers in Psychology*, 10.
- Budiharto., Krisnawati, H., Manuri, S., Puwanto, J., Asaad, I., Nurhayati., Gunawan, W., Rusolono, T., Darmawan, A., Novita, A., Tosiani, A., Silva, N., Adinugroho, W.C., Marthinus, D., Dharmawan, I.W.S., Zamzani, F., Djuariah, R., Oktavia, E.R., Imansyah, T., Subarno., Wulandari, R. 2022. *National Forest Reference Level for Deforestation, Forest Degradation and Enhancement of Forest Carbon Stock*. Director General of Climate Change. Republik of Indonesia.
- Cahyo, A. T., Darmawan, A., Iswandar, D., Setiawan, A. Pendugaan Karbon Stok Di Atas Permukaan Tanah Pada Hutan Mangrove Di Kabupaten Lampung Timur. *Jurnal Hutan Tropis*. 10(3): 268-276.
- Canty, S.W.J., Kennedy, J.P., Fox, G. 2022. Keanekaragaman mangrove lebih dari sekadar hutan pinggir. *Sci Rep*. 12: 1695.

- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B. C., Vieilledent, G. 2014. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*. 20(10): 3177–3190.
- Clough B.F., Scott K. 1989. Allometric relationships for estimating above-ground biomass in six mangrove species. *For. Ecol. Manag.* 27: 117–127.
- Dharmawan, I.W.S. 2013. Pendugaan Biomasa Karbon di Atas Tanah Pada Tegakan *Rhizophora mucronata* di Ciasem, Purwakarta. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. 15(1): 50-56.
- Dharmawan, I.W.S., Siregar, C.A. 2008. Karbon tanah dan pendugaan karbon tegakan *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. di Ciasem, Purwakarta. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*. 5(4): 317-328.
- Donato, D., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., Kanninen, M. 2012. Mangrove adalah salah satu hutan terkaya karbon di kawasan tropis (No. CIFOR Infobrief no. 12, p. 12p). *Center for International Forestry Research (CIFOR)*. Bogor.
- Emrinelson, T., Warningsih, T. 2023. Estimasi Simpanan Karbon Hutan Mangrove di Pesisir Utara Pulau Cawan, Indragiri Hilir. *Proceedings Series on Physical & Formal Sciences*. 5: 58-68.
- Fadhila, H., Saputra, S.W., Wijayanto, D. 2015. Nilai manfaat ekonomi ekosistem mangrove di desa kartika jaya Kecamatan patebon kabupaten kendal jawa tengah. *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*. 4(3): 180- 187.
- Falkowski, P. G. 2000. The global carbon cycle: A test of our knowledge of Earth's carbon-climate interactions. *Science*. 290(5490): 291-296.
- Fardiaz, S. 1995. *Siklus Karbon Dalam Hutan*. Lembaga Sumberdaya Informasi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Fawzy, S., Osman, A., Doran, J., Rooney, D. 2020. Strategies for mitigation of climate change: a review. *Environmental Chemistry Letters*. 18: 2069-2094.
- Fella, Suffa. .2020. Estimasi Serapan Karbon Pada Hutan Mangrove Desa Bedono, Demak, Jawa Tengah. *Journal of Fisheries and Marine Research*. 4. (2) :308-315.
- Giesen, W., Wulffraat, S., Zieren, M. Scholten, L. 2007. *Mangrove Guidebook for Southeast Asia*. FAO and Wetlands International.
- Hair, Jr., Joseph F. 2011. *Multivariate Data Analysis*. Fifth Edition. New Jersey: PrenticeHall, Inc.

- Hairiah K, Rahayu S. 2007. *Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai macam Penggunaan Lahan*. Bogor. World Agroforestry Centre –ICRAF, SEA Regional Office, University of Brawijaya, Indonesia. 77p.
- Hartoko, A., Hendrarto, I.B., Dwi, A.M. 2013. Perubahan Luas Vegetasi Mangrove di Pulau Parang, Kepulauan Karimunjawa Menggunakan Citra Satelit. *Jurnal of Management of Aquatic Resources*. 2(2): 19-27.
- Heriyanto, N. M., Subiandono, E. 2016. Peran biomassa mangrove dalam menyimpan karbon di Kubu Raya, Kalimantan Barat. *Jurnal Analisis Kebijakan*. 13(1): 1-12.
- Ibrahim, A. F., Kamur, S., Kharisma, G. N. 2021. Analisis vegetasi, estimasi biomassa dan stok karbon ekosistem mangrove pesisir Kecamatan Latambaga, Kabupaten Kolaka. *Jurnal Sains Dan Inovasi Perikanan*. 5(2): 60-71.
- IGES. 2006. *Clean Development Mechanism. Panduan MPB di Indonesia*, Terjemahan oleh ICER Indonesia. Kementerian Lingkungan Hidup. Tokyo.
- Indrian Ariftia, R., Qurniati, R., Herwanti, S. 2014. Nilai Ekonomi Total Hutan Mangrove Desa Margasari Kecamatan Labuhan Maringgai Kabupaten Lampung Timur. *Jurnal Sylva Lestari*. 2(3): 19.
- Indriyanto. 2006. *Ekologi Hutan*. Buku. Bumi Aksara. Jakarta. 210 hlm
- Irwanto. 2006. *Keanekaragaman Fauna pada Habitat Mangrove*. Yogyakarta.
- Islam, M. A., Idris, M. H., Bhuiyan, M. K. A., Ali, M. S., Abdullah, M. T., Kamal, A. H. M. 2022. Floristic diversity, structure, and carbon stock of mangroves in a tropical lagoon ecosystem at Setiu, Malaysia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 23(7).
- Ismaini, L., Masfiro, L., Rustandi., Dadang, S. 2015. Analisis komposisi dan keanekaragaman tumbuhan di Gunung Dempo, Sumatera Selatan. *Paper presented at the Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*, Indonesia.
- Istomo, Pradiastoro, A. 2010. Karakteristik tempat tumbuh pohon-pohon gunung (D. retusus) di kawasan hutan lindung G. Cakrabuana, Sumedang, Jabar. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*. 8(1): 1-12.
- J. Chave. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*. 145: 87–99.
- Janzen, H. H. 2004. *Carbon cycling in earth systems—a soil science perspective*. *In Agriculture, ecosystems and environment*. 104: 399 – 417.

- Julaikha, S., Sumiyati, L. 2017. Nilai Ekologis Ekosistem Hutan Mangrove. *Jurnal Biologi Tropis*. 17(1): 23-31.
- Kalima, T. 2008. Profil Keragaman dan Keberadaan Spesies dari Suku Dipterocarpaceae di Taman Nasional Meru Betiri, Jember. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*. 5(2): 175–191.
- Ketterings, Q. M., Coe, R., van Noordwijk, M., Ambagau', Y., Palm, C. A. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management*. 146(1): 199–209.
- Khadka, J. 2019. *Sampling Error in Survey Research*. India.
- Khoe Susanto Kusumahadi, Ahmad Yusuf dan Rizky Gautama Maulana. Analisis Keanekaragaman Jenis Vegetasi Mangrove Di Kawasan Hutan Lindung Angke-Kapuk Dan Taman Wisata Alam Angke-Kapuk Muara Angke Kota Jakarta Utara. *Jurnal Ilmu dan Budaya*. 41(69).
- KLHK Direktorat Konservasi Tanah dan Air Forest Programme II. 2022. *Laporan Akhir Identifikasi, Monitoring, dan Evaluasi Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) di Lokasi 1 Tahun 2022*. Jakarta.
- Komiyama, A., Pongpan, S., Kato, S. 2005 Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. *Journal of Tropical Ecology*. 21: 471-477.
- Krisnawati, H., Imanuddin, R., Adinugroho, W.C., Hutabaat, S. 2015. *Metode Standar untuk Pendugaan Emisi Gas rumah Kaca dari Sektor Kehutanan di Indonesia (Versi 1)*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Konservasi dan Rehabilitas, KLHK. Bogor.
- Kusumaningtyas, M. A., Hutahaean, A. A., Fischer, H. W., Pérez-Mayo, M., Ransby, D., Jennerjahn, T. C. 2019. Variability in the organic carbon stocks, sources, and accumulation rates of Indonesian mangrove ecosystems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 218: 310-323.
- Latupapua, Y. T., Loppies, R., Fara, F. D. 2019. Analisis kesesuaian kawasan mangrove sebagai objek daya tarik ekowisata di Desa Siahoni, Kabupaten Buru Utara Timur, Provinsi Maluku (Mangrove suitability analysis as an object of ecotourism attraction in Siahoni Village, Buru Utara Timur Regency, Maluku Province). *Jurnal Sylva Lestari*. 7(3): 267-276.
- Ludwig, J. A., Reynolds, J. F. 1988. *Statistical ecology-a primer and methods and computing*. New York: Wiley.
- Magurran AE. 1988. Ecological Diversity and Its Measurement. *Australia (AU): Croom Helm*. hlm:35-37.

- Manafe, G., Kaho, M. R., Risamasu, F., Adisucipto, J. 2016. Estimasi biomassa permukaan dan stok karbon pada tegakan pohon *Avicennia marina* dan *Rhizophora mucronata* di perairan pesisir oebelo Kabupaten Kupang. *Jurnal Bumi Lestari*. 16(2): 163-173.
- Murdiyarso, Daniel. 2005. *CDM: Mekanisme Pembangunan Bersih*. Penerbit Kompas. Jakarta.
- Nasution, T. 2023. Daya dukung hutan mangrove Pangkal Babu pada kelimpahan sumberdaya ikan dan ekonomi masyarakat Desa Tungkal Satu Tanjung Jabung Barat. *Jurnal Natur Indonesia*. 21(1).
- Niapele, S., Hasan, M. H. 2017. Analisis nilai ekonomi hutan mangrove di Desa Mare Kofo Kota Tidore Kepulauan. *Jurnal Ilmiah Agribisnis dan Perikanan*. 10(2): 7-16.
- Novalia, T. 2017. *Neraca Lahan Indonesia: Penyusunan Neraca Lahan Indonesia untuk Mendukung Implementasi Sustainable Development Goals*. 245–254.
- Oktawati, N. O., Sulistianto, E., Fahrizal, W., Maryanto, F. 2018. Nilai ekonomi ekosistem lamun di Kota Bontang. *EnviroScientiae*. 14(3): 228-236.
- Pangestika, M. A., Soenardjo, N., Pramesti, R. 2023. Estimasi Simpanan Karbon Sedimen Mangrove di Hutan Mangrove Kecamatan Ayah, Kabupaten Kebumen. *Journal of Marine Research*. 12(1): 89-94.
- Poorter, L., van der Sande, M. T., Thompson, J., Arets, E. J., Alarcón, A., Álvarez-Sánchez, J., Peña-Claros, M. 2015. Diversity enhances carbon storage in tropical forests. *Global Ecology and Biogeography*. 24(11): 1314-1328.
- Qodariah, C. 2017. *Kesesuaian dan Daya Dukung Ekowisata Mangrove Ciletuh. Sukabumi*, Jawa Barat. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- R Rodlyan Ghufrona, Cecep Kusmana dan Omo Rusdiana, Komposisi Jenis Dan Struktur Hutan Mangrove Di Pulau Sebuku, Kalimantan Selatan. *Jurnal Silvikultur Tropika*. 06(1):15-26.
- Rahim, S., Baderan, D. K., Hamidun, M. S. 2018. Keanekaragaman Spesies, Biomassa Dan Stok Karbon Pada Hutan Mangrove Torosiaje Kabupaten Pohuwato-Provinsi Gorontalo. *Pro-Life*. 5(3): 650-665.
- Rahman, M. M., Zimmer, M., Ahmed, I., Donato, D., Kanzaki, M., Xu, M. 2021. Co-benefits of protecting mangroves for biodiversity conservation and carbon storage. *Nature Communications*. 12(1): 3875.

- Rahmila, Y.I., Halim, M.A.R. 2018. Pengembangan hutan mangrove untuk ekowisata di Desa Mangunharjo, Semarang. *E3S Web of Conferences*. 73: 04010.
- Schmidhuber, J., Tubiello, F. N. 2007. Global food security under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 104(50): 19703-19708.
- Shafitri, L. D., Prasetyo, Y., Haniah, H. 2018. Analisis Deforestasi Hutan di Provinsi Riau dengan Metode Polarimetrik dalam Pengindraan Jauh. *Jurnal Geodesi Undip*. 7(1): 212–222.
- Shannon, C. E., Wiener, W. 1963. *The mathematical theory of communication*. Urbana: University of Illinois Press.
- Simarmata, N., Elyza, F., Vatlady. 2019. Kajian Citra Satelit SPOT-7 untuk Estimasi Standing Carbon Hutan Mangrove dalam Upaya Mitigasi Perubahan Iklim (*Climate Changes*) di Lampung Selatan. *J. Penginderaan Jauh*. 16(1): 1-8 hlm.
- Soegianto A. 1994. *Ekologi Kuantitatif: Metode Analisis Populasi dan Komunikasi*. Jakarta: Usaha Nasional.
- Sofian, A., Kusmana, C., Fauzi, A., Rusdiana O. 2020. Evaluasi kondisi ekosistem Mangrove Angke Kapuk Teluk Jakarta dan Konsekuensinya Terhadap Jasa Ekosistem. *Jurnal Kelautan Nasional*. 15 (1): 1-12.
- Sugiyono, D. 2013. *Metode penelitian pendidikan pendekatan kuantitatif, kualitatif dan R&D*. Alfabeta. Bandung.
- Sumarga, E., Sholihah, A., Srigati, F. A. E., Nabila, S., Azzahra, P. R., Rabbani, N. P. 2023. Quantification of ecosystem services from urban mangrove forest: A case study in Angke Kapuk Jakarta. *Forests*. 14(9): 1796.
- Suryono, S., Soenardjo, N., Wibowo, E., Ario, R., Rozy, E. F. 2018. Estimasi kandungan biomassa dan karbon di hutan mangrove Perancak Kabupaten Jembrana, Provinsi Bali. *Buletin Oseanografi Marina*. 7(1): 1-8.
- Sutaryo, D. 2009. *Penghitungan Biomassa: Sebuah Pengantar Untuk Studi Karbon dan Perdagangan Karbon*. Dipublikasikan oleh: Wetlands International Indonesia Programme. Bogor.
- Syaufina, L., Ikhsan, M. 2013. Estimation of Above Ground Carbon Stock at Above Reclamation Area of PT. ANTAM UBPE Pongkor, West Java Province. *Journal of Tropical Silviculture*. 4(2).
- Tetelay, Febian. 2018. Keanekaragaman jenis dan struktur diameter pohon pada hutan model taman nasional manusela (Diversity of Tree Species and its Structure Of Diameter at Manusela National Park Forest Model). 6: 16-24.

- Tiolong, G. M., Rumengan, A. P., Sondak, C. F., Boneka, F. B., Mamangkey, N. G., Kondoy, C. 2019. Estimasi Karbon Vegetasi Mangrove di Kelurahan Pintu Kota Kecamatan Lembeh Utara Kota Bitung. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*: 7(2): 98-103.
- Tresnawan, H., U, Rosalina. 2002. Pendugaan Biomassa di Atas Permukaan Tanah di Ekosistem Hutan Primer dan Hutan Bekas Tebangan (Studi Kasus Hutan Dusun Aru, Jambi). *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*. 7(1): 15-29.
- Tue, N. T., Dung, L. V., Nhuan, M. T., Omori, K. 2014. Carbon storage of a tropical mangrove forest in Mui Ca Mau National Park, Vietnam. *Catena*, 121: 119-126.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). 2015. *Paris Agreement*.
- Warsidi. 2017. Komposisi Vegetasi Mangrove di Teluk Betung Provinsi Kalimantan Selatan. *Jurnal Samarinda*. 17: 1-9.
- Widodo, P., Sidik, A. J. 2020. Perubahan Tutupan Lahan Hutan Lindung Gunung Guntur Tahun 2014 Sampai dengan Tahun 2017. *Wanamukti: Jurnal Penelitian Kehutanan*. 21(1): 30-48.
- Wu, X., Lu, Y., Zhou, S., Chen, L., Xu, B. 2016. Impact of climate change on human infectious diseases: Empirical evidence and human adaptation. *Environment international*. 86: 14-23.
- Wulandari, N. K. P., Ernawati, N. M., Saraswati, N. L. G. R. A. 2024. Estimasi Total Simpanan Karbon Hutan Mangrove Teluk Gilimanuk, Bali. *Buletin Oseanografi Marina*. 13(3): 424-436.
- Yaqin, N., Rizkiyah, M., Putra, E. A., Suryanti, S., Febrianto, S. 2022. Estimasi Serapan Karbon Pada Kawasan Mangrove Tapak Di Desa Tugurejo Semarang. *Buletin Oseanografi Marina*. 11(1): 19-29.
- Yeni, A., Safei, R., Kaskoyo, H., Wulandari, C., Febryano, G. F. 2020. Analisis Penilaian Kesehatan Hutan Mangrove Di Kabupaten Lampung Timur
Analysis of The Health Assessment of Mangrove Forest in East Lampung. *Jurnal Hutan Tropis*. 8(2): 125-130.
- Yusandi, S., Jaya, I Nengah Surati. 2015. Model Penduga Biomassa Hutan Mangrove Menggunakan Citra Satelit Resolusi Sedang di Areal Kerja Perusahaan Konsesi Hutan di Kalimantan Barat. *Bonorowo Wetlands*. 6(2): 69-81.
- Zulhalifah, Z., Syukur, A., Santoso, D., Karna, K. 2021. Species diversity and composition, and above-ground carbon of mangrove vegetation in Jor Bay,

East Lombok, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*.
22(4).