

**KAJIAN KETERSEDIAAN BIOMASSA HUTAN ALAM DI AREAL
ARBORETUM KONSESI PERIZINAN BERUSAHA PEMANFAATAN
HUTAN-HUTAN TANAMAN (PBPH-HT)**

(Skripsi)

Oleh

**YOSAFAT SARAGIH RH
2054151016**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

KAJIAN KETERSEDIAAN BIOMASSA HUTAN ALAM DI AREAL ARBORETUM KONSESI PERIZINAN BERUSAHA PEMANFAATAN HUTAN-HUTAN TANAMAN (PBPH-HT)

Oleh

YOSAFAT SARAGIH. RH

Aksi mitigasi GRK pada sektor kehutanan menjadi penting bagi Indonesia dalam agenda *climate actions global* yang tertuang dalam dokumen *Enhanced Nationally Determined Contribution* (ENDC). Penelitian ini penting dilakukan di perusahaan PBPH-HT yang memiliki kawasan lindung karena selain melakukan pemanenan, perusahaan juga turut andil dalam menjaga potensi simpanan karbon melalui mekanisme Nilai Ekonomi Karbon (NEK). Penelitian ini bertujuan mengetahui struktur dan komposisi vegetasi, mengestimasi nilai ketersediaan biomassa atas tanah (*Above Ground Biomass*) dan mengestimasi nilai simpanan karbon. Pengumpulan data menggunakan rumus penentuan *sampling* Cochran dengan *margin error* 20% dan metode non-destruktif dengan melakukan inventarisasi tegakan. Hasil penelitian ini menunjukkan di lokasi penelitian Arboretum PT. Arara Abadi terdapat 911 individu dan 35 jenis spesies dengan indeks keanekaragaman 2,18 (kategori sedang). Sebaran DBH (diameter setinggi dada) berkisar antara 5,10 cm – 85,99. Hasil perhitungan nilai total rata-rata biomassa pohon adalah sebesar 525,23 kg/ind dan total rata-rata simpanan karbon sebesar 159,31 [142,63; 176] tC/ha dengan *sampling error* 10,47%. Hasil uji regresi linear sederhana menjelaskan nilai kerapatan bidang dasar (KBD) pohon mempengaruhi jumlah simpanan karbon sebesar ($R^2=0,5506$) yang dimana kerapatan bidang dasar berpengaruh sebesar 55,06% terhadap jumlah simpanan karbon.

Kata kunci: Mitigasi Gas Rumah Kaca, Simpanan Karbon, Non-destruktif, Arboretum.

ABSTRACT

(Study Of The Availability Of Natural Forest Biomass In The Arboretum Areas For Licensing Concessions For The Utilization Of Plant Forests (PBPH-HT)

By

YOSAFAT SARAGIH. RH

GHG mitigation action in the forestry sector is important for Indonesia in the global climate actions agenda in the Enhanced National Determined Contribution (NDC) document. This research is important in PBPH-HT companies that have a protected area because in addition to harvesting, the company also contributes to maintaining the potential for carbon savings through the carbon economic value mechanism (NEK). This study aims to determine the structure and composition of vegetation, estimate the availability of biomass on land (above-ground biomass) and estimate the value of carbon savings. Data collection uses the formula for determining Cochran sampling with 20% margin error and non-destructive methods by carrying out stand inventory. The results of this study showed that at the Arboretum Research location of PT. Arara Abadi There are 911 individuals and 35 species with a diversity index of 2.18 (medium category). DBH distribution (chest height diameter) ranges from 5.10 cm - 85.99. The calculation of the total value of the average tree biomass is 525.23 kg/ind and the total average carbon deposit is 159.31 [142.63; 176] TC/ha with an error sampling of 10.47%. Simple linear regression test results explain how the value of the tree's basic field density (KBD) affects the number of carbon deposits ($R^2 = 0.5506$) where the basic field density affects 55.06% of the number of carbon deposits.

Kata kunci: GHG Mitigation Action, Carbon Storage, Non-destructive, Arboretum.

**KAJIAN KETERSEDIAAN BIOMASSA HUTAN ALAM DI AREAL
ARBORETUM KONSESI PERIZINAN BERUSAHA PEMANFAATAN
HUTAN-HUTAN TANAMAN (PBPH-HT)**

Oleh

Yosafat Saragih. RH

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Kehutanan
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

Judul : **KAJIAN KETERSEDIAAN BIOMASSA HUTAN ALAM DI AREAL ARBORETUM KONSESI PERIZINAN BERUSAHA PEMANFAATAN HUTAN-HUTAN TANAMAN (PBPH-HT)**

Nama Mahasiswa : **Yosafat Saragih. RH.**

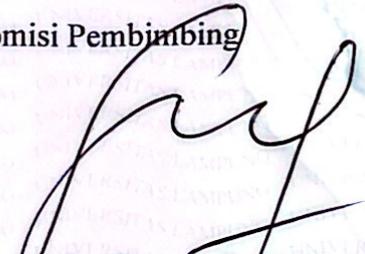
Nomor Pokok Mahasiswa : **2054151016**

Jurusan : **Kehutanan**

Fakultas : **Pertanian**

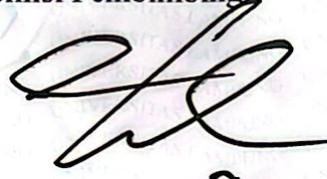
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



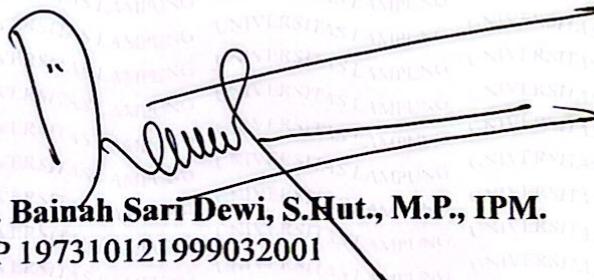
Prof. Dr. Ir. Slamet Budi Yuwono, M.S.
NIP 196412231994031003

2. Komisi Pembimbing



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

3. Ketua Jurusan Kehutanan



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

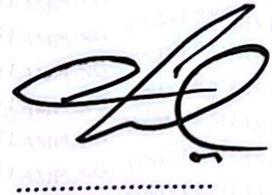
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

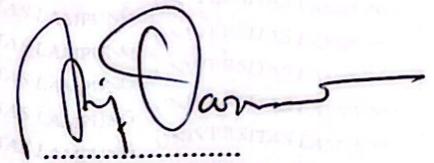
Ketua Komisi : Prof. Dr. Ir. Slamet Budi Yuwono, M.S.



Sekretaris : Dr. Ir. Gunardi Djoko Winarno, M.Si.



Penguji : Dr. Arief Darmawan, S.Hut., M.Sc.



2. Dekan Fakultas Pertanian



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 23 Juli 2024

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Yosafat Saragih. RH

NPM : 2054151016

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

“KAJIAN KETERSEDIAAN BIOMASSA HUTAN ALAM DI AREAL ARBORETUM KONSESI PERIZINAN BERUSAHA PEMANFAATAN HUTAN-HUTAN TANAMAN (PBPH-HT)”

Adalah benar karya saya sendiri yang saya susun dengan norma dan etika akademik yang berlaku saat ini. Kemudian, saya juga tidak keberatan apabila sebagian dari skripsi ini digunakan oleh dosen dan/atau program studi untuk kepentingan publikasi. Jika di kemudian hari terbukti pernyataan saya ini tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 23 Juli 2024

Yang menyatakan



Yosafat Saragih. RH

NPM 2054151016

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Yosafat Saragih. RH yang biasa disapa yos, dilahirkan di Pangkalan Berandan, Kabupaten Langkat , 09 Mei 2002. Penulis sebagai anak ke lima dari lima bersaudara yang merupakan anak dari pasangan Bapak Marles Saragih dan Dinar Lubis, S.Th. Penulis menempuh pendidikan Taman Kanak kanak (TK) di TK Dharma Patra Pertamina Pangkalan Berandan tahun 2007-2008, Sekolah Dasar (SD) di SDS Estomihi Kota Dumai tahun 2008-2014, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPS Santo Tarcisius Kota Dumai tahun 2014-2017, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMAN 2 Kota Dumai tahun 2017-2020. Tahun 2020 penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Masuk Melalui Jalur Mandiri Wilayah Barat (SMMPTN Barat). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam organisasi di dalam kampus maupun di luar kampus. Penulis mengikuti organisasi internal dalam kampus yaitu Himpunan Mahasiswa Kehutanan (Himasyulva) sebagai Anggota, Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) selama 2 periode sebagai anggota (periode 2022) dan Kepala Departemen Internal (periode 2023) dan penulis juga aktif di organisasi eksternal kampus yaitu Sylva Indonesia (SI) sebagai anggota tahun 2022-2024. Kegiatan keprofesian yang pernah diikuti penulis yaitu kegiatan kuliah kerja nyata (KKN) di Desa Gedau, Kecamatan Pesisir Utara, Kabupaten Pesisir Barat selama 40 hari. Penulis juga mengikuti kegiatan praktik umum (PU) di Hutan Pendidikan Universitas Gadjah Mada (UGM) yaitu di KHDTK Wanagama, Gunung Kidul, Yogyakarta dan KHDTK Getas, Blora, Jawa Tengah pada bulan Agustus 2023 selama 20 hari. Selain itu, penulis juga pernah menjadi Asisten Dosen mata kuliah Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Konservasi Tanah Air (PDAS & KTA) semester Ganjil (2022). Penulis menghasilkan karya ilmiah yang dipresentasikan

di Seminar Internasional Bilgi Seli Kongreleri di Turki dengan judul “*(Study Of The Availability Of Natural Forest Biomass In The Arboretum Areas For Licensing Concessions For The Utilization Of Plant Forests (PBPH-HT)*”.

MOTTO

Orang-orang Yahudi di situ heran dan berkata, “Bagaimana orang ini dapat memperoleh ilmu sebanyak itu, padahal ia belum pernah diajar?”

(Yohanes 7:15)

Dan apa yang telah kamu pelajari dan apa yang telah kamu terima, dan apa yang telah kamu dengar dan apa yang telah kamu lihat padaku, lakukanlah itu. Maka Allah sumber damai sejahtera akan menyertai kamu.

(Filipi 4:9)

“Apapun yang terjadi, pulanglah sebagai sarjana.”

Maaf atas perjalanan yang tidak sempurna, namun percayalah untukmu kujual dunia

(Feast)

“To all my Helena, Thank you for coming into my life. I hope good things come to you even without me”.

(Yosafat)

I dedicate a piece of the lyrics of this song to you

What's the worst that I can say?

Things are better if I stay

So long and goodnight

So long and goodnight

(My Chemical Romance)

Ketika kau diawal lahir kau terlahir menjadi orang susah jangan pernah putus asa ingat dunia berputar. Kau itu adalah manusia late game, kau seorang petarung, kau seorang fighter jangan mengeluh kau di masa mudamu karena di masa tuamu kau akan menjadi seorang yang sukses dan percaya kepada dirimu sendiri kamu yakin bahwa kamu itu adalah fighter manusia yang late game, menggilanya diusia tua.

“Adios formosa el contle”.

(Pascol)

SANWACANA

Puji syukur kepada Tuhan Yesus Kristus atas segala berkat dan anugerah yang berkelimpahan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “KAJIAN KETERSEDIAAN BIOMASSA HUTAN ALAM DI AREAL ARBORETUM KONSESI PERIZINAN BERUSAHA PEMANFAATAN HUTAN-HUTAN TANAMAN (PBPH-HT)” sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Kehutanan. Penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bimbingan, kritik dan masukan, serta dukungan yang diberikan oleh berbagai pihak, sehingga penulis mengucapkan rasa hormat dan terimakasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., IPM., ASEAN Eng. selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P. selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
3. Ibu Dr. Hj. Bainah Sari Dewi, S.Hut., M.P., IPM. selaku Ketua Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
4. Ibu Surnayanti, S.Hut., M.Si. selaku dosen pembimbing akademik (PA) yang telah memberi saran dan arahan selama penulis menjadi mahasiswa sehingga penulis termotivasi dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Slamet Budi Yuwono, M.S. selaku pembimbing pertama atas semua masukan, kritik dan nasihat yang menjadi pelajaran berharga selama melakukan penulisan skripsi.
6. Bapak Dr. Ir. Gunardi Djoko Winarno, M.Si. selaku dosen pembimbing kedua atas semua masukan, kritik dan nasihat yang menjadi pelajaran berharga selama melakukan penulisan skripsi.

7. Bapak Dr. Arief Darmawan, S.Hut., M.Sc, selaku dosen penguji utama atas masukan penulisan, saran dan kritik yang membangun bagi penulis dan kesempurnaan skripsi ini.
8. Segenap bapak dan ibu dosen Jurusan Kehutanan yang telah memberikan wawasan dan ilmu pengetahuan kepada penulis selama masa perkuliahan di Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
9. Segenap pihak PT. Arara Abadi yang telah memberikan izin kepada penulis untuk melakukan pengambilan data dan membantu penulis dalam melakukan pengambilan data sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.
10. Kepada bapak tersayang Marles Saragih dan cinta pertamaku mamak Dinar Lubis selaku orang tua penulis yang telah memberikan dukungan, motivasi, nasihat dan doa yang tak berkesudahan kepada penulis yang tidak akan pernah terbalaskan. Terimakasih atas perjuangan dan pengorbanannya, kalian orang terhebat yang pernah penulis kenal.
11. Kepada abang dan kakak kandung penulis Jules Saragih. RH, Jetty Saragih. RH, Dentris Saragih. RH dan Aron Saragih. RH serta adik sepupu Ayu Rumahorbo yang sudah dianggap seperti adik kandung penulis. Terimakasih atas motivasi, dukungan, doa dan bantuan material maupun non-material selama perkuliahan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
12. Kepada Kak Natal, Kak Eva dan Kak Lisa selaku kakak ipar penulis yang telah memberikan nasihat dan doa selama perkuliahan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
13. Keluarga besar Himpunan Mahasiswa Jurusan Kehutanan (Himasylva) Universitas Lampung.
14. Keluarga besar Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) Fakultas Pertanian Kabinet Gelora Juang.
15. Saudara seperjuangan angkatan 2020 (BEAVERS).
16. Lelaki penghuni kontrakan Gedong Meneng dan Kehutanan Sugeng yang telah memberikan semangat, hiburan dan dukungan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.

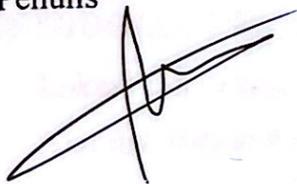
17. Teman Seperbimbingan Friska, Chandra, Imam, Salsa, Nafa, Gading, Sonya, Akip dan Jundy yang telah berjuang bersama selama proses penyelesaian skripsi.
18. Teman-teman, sahabat, dan kerabat yang telah banyak memberikan semangat serta dukungan penulis dalam akademik maupun non-akademik.
19. Serta seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu oleh penulis yang telah banyak membantu penulis selama melakukan perkuliahan dan proses skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa di dunia ini tidak ada yang sempurna sama halnya skripsi ini. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat diperlukan dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat serta berguna bagi ilmu pengetahuan di masa yang akan datang.

Last but not least, I wanna thank me. I wanna thank me for believing in me. I wanna thank me for all doing this hard work. I wanna thank me for having no days off. I wanna thank me for never quitting. I wanna thank me for always being a giver and tryna give more than I recieve. I wanna thank me for tryna do more right than wrong. I wanna thank me for just being me at all times.

Bandar Lampung, 23 Juli 2024

Penulis



Yosafat Saragih. RH

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. Tujuan Penelitian	4
1.3. Kerangka Pemikiran.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Hutan.....	7
2.2. Hutan Lindung	8
2.4. PT. Arara Abadi	12
2.5. Biomassa.....	15
2.6. Karbon.....	17
2.7. Simpanan Karbon.....	20
2.8. Allometrik Biomassa dan Simpanan Karbon.....	21
III. METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian	24
3.2. Alat dan Bahan Penelitian.....	27
3.3. Jenis dan Teknik Pengambilan Data	27
3.3.1. Data Primer	27
3.3.2. Data Sekunder	28
3.3.3. Plot Pengukuran	28
3.4. Penghitungan dan Analisis Data	30
3.4.1. Analisis Vegetasi	31

3.4.2. Biomassa Atas Permukaan.....	31
3.4.3. Cadangan Karbon.....	32
3.4.4. Analisis Statistik	32
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	34
4.1. Kondisi Umum PT. Arara Abadi	34
4.1.1. Letak dan Luas	34
4.1.2. Topografi dan Tanah.....	35
4.1.3. Iklim.....	35
4.1.4. Sejarah Penetapan Kawasan	35
4.1.5. Kondisi Arboretum	36
4.2. Struktur dan Komposisi Vegetasi	37
4.2.1. Indeks Keanekaragaman (H')	38
4.2.2. Sebaran Kelas Diameter.....	41
4.2.3. Sebaran Stok Karbon dan Kerapatan Bidang Dasar	44
4.2.4. Stratifikasi Tajuk.....	45
4.3. Ketersediaan Biomassa	47
4.4. Estimasi Simpanan Karbon.....	49
4.5. Regresi Linear	52
4.6. Analisis Statistik	55
V. KESIMPULAN DAN SARAN	57
5.1. Kesimpulan	57
5.2. Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN.....	69

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. <i>Tallysheet</i> Pengukuran Tinggi dan Diameter Vegetasi.....	30
2. Analisis statistik data pada plot sampel	33
3. Kekayaan Jenis Pohon Yang Terdapat Di Lokasi Penelitian.....	37
4. Indeks Keanekaragaman Vegetasi per Plot di Lokasi Penelitian.....	39
5. Nilai Biomassa Dan Simpanan Karbon	48
6. Karakteristik Tegakan Hutan dan Simpanan Karbon Pada Berbagai Hutan Tropis Dataran Rendah.....	50
7. Data Hasil Perhitungan Simpanan Karbon	76
8. Sampel Vegetasi Pada Plot 20 m x 50 m	76
9. Sampel Vegetasi Pada Plot 10 m x 10 m	78
10. Sampel Vegetasi Pada Plot 5 m x 5 m	79
11. Interval Nilai Estimasi Simpanan Karbon dan Sampling error.....	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pemikiran	6
2. Peta Lokasi Penelitian Arboretum PT. Arara Abadi	24
3. Lokasi Sebaran Petak Plot Pada Arboretum PT. Arara Abadi	26
4. Desain Plot	28
5. Prosedur Pengukuran Diameter Breast Height (DBH) Pada Batang	29
6. Sebaran Data Jumlah Individu, Kerapatan Bidang Dasar dan Stok Karbon Berdasarkan Kelas Diameter	41
7. Sebaran Jumlah Individu Berdasarkan Kelas Stratum	46
8. Hubungan Jumlah Pohon Dan Jumlah Simpanan Karbon	52
9. Hubungan Keragaman Jenis Pohon Dan Jumlah Simpanan Karbon	53
10. Hubungan Kerapatan Bidang Dasar (KBD) Dan Simpanan Karbon	54
11. Salah Satu Gajah Binaan BKSDA Di Arboretum PT. Arara Abadi	73
12. Kondisi Vegetasi Lokasi Penelitian	73
13. Menginput Data Ke Dalam Tallysheet	74
14. Pengukuran DBH Pada Batang Pohon	74
15. Pengukuran Diameter Pada Batang Pohon Berbanir	75

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Dokumentasi Petak Plot Penelitian	70
2. Dokumentasi Penelitian	73
3. Tallysheet Tiap Petak Plot Penelitian	76

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pemanasan global adalah permasalahan yang kian dialami dan dirasakan oleh seluruh masyarakat di dunia dengan ditandai oleh kondisi peningkatan suhu yang semakin panas, kondisi cuaca yang tak menentu juga merupakan tanda-tanda terjadi pemanasan global (Wahyuni dan Suranto, 2021). Permasalahan ini timbul melalui aktivitas sehari-hari manusia dari penggunaan bahan bakar fosil, industri, dan maraknya deforestasi untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia itu sendiri sehingga seiring berjalannya waktu menyebabkan timbulnya emisi karbon yang berdampak terhadap meningkatnya efek gas rumah kaca dalam jangka yang panjang terhadap kehidupan sehingga diharuskan agar dapat mengurangi aktivitas yang dapat merusak hutan atau kegiatan yang berpotensi menimbulkan emisi (Isti Prabandari, 2020). Ketika atmosfer semakin kaya akan gas-gas rumah kaca ini, ia semakin menjadi insulator yang menahan lebih banyak panas dari Matahari yang dipancarkan ke Bumi. Bumi memanas akibat dari sinar matahari yang sudah masuk ke bumi tidak bisa keluar karena gas-gas rumah kaca ini membentuk lapisan di atmosfer yang memantulkan sinar matahari. Hal ini terjadi akibat peningkatan jumlah gas ini melebihi kemampuan tumbuhan dan laut untuk mengadsorpsinya (Triana, 2008).

Menurut Triana (2008), Indonesia adalah menjadi Negara terbesar ke-3 di dunia setelah Cina sebagai penyumbang gas rumah kaca dari kebakaran hutan dan pembakaran lahan gambut (yang diubah menjadi permukiman atau hutan industri). Permasalahan lingkungan yang paling utama muncul teridentifikasi menjadi lima yang satu diantaranya yaitu kerusakan lahan yang disebabkan oleh penebangan hutan, dan alih fungsi lahan untuk perkebunan (Akhmaddhian, 2016). Disamping itu, sektor kehutanan di Indonesia juga memberikan kontribusi bagi pembangunan

nasional, tetapi juga berperan penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem termasuk kestabilan emisi global. Indonesia sebagai negara dengan hutan tropis terluas ketiga di dunia memiliki peran penting dalam mengurangi laju perubahan iklim di dunia.

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). Maraknya deforestasi dan degradasi hutan merupakan masalah yang menjadi fokus dalam mitigasi perubahan iklim di sektor kehutanan yang disebabkan oleh beberapa hal diantaranya alih fungsi lahan untuk berbagai kepentingan, perambahan hutan dan kebakaran hutan dan lahan. Diperkirakan bahwa 57 % deforestasi di negara Indonesia sebagian besar disebabkan oleh perubahan lahan menjadi yang menjadi lahan perkebunan kelapa sawit dan 20 % lainnya bersumber dari pulp dan kertas (Ariana, 2017). Hampir di setiap tahunnya Indonesia dihadapkan dengan bencana kebakaran hutan, pada tahun 2015 tercatat 1,7 juta ha yang terbakar dan menyebabkan bencana asap yang menimbulkan dampak serius pada pendidikan, transportasi udara, kesehatan, ekonomi, dan tentunya kerusakan lingkungan (Adiputra dan Barus, 2018)

Menurut laporan *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), setelah era industrialisasi permasalahan pemanasan global dan kenaikan gas rumah kaca yang kemudian berdampak pada perubahan iklim ini menjadi permasalahan internasional. Hal ini menjadi perhatian banyak negara untuk segera mencari jalan terbaik dalam mengendalikan perubahan iklim dan penanganan dampaknya melalui payung kerangka kerja Persatuan Bangsa-Bangsa untuk perubahan iklim/*United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) (Fajri, M *et al.*, 2023). Indonesia sebagai anggota *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) melakukan ratifikasi *Paris Agreement* melalui UU No

16 Tahun 2016 yang berisikan komitmen tindakan progresif mencapai tujuan global dalam membatasi kenaikan rata-rata suhu global di bawah 2°C dari tingkat pre-industrialisasi dan terus berupaya untuk membatasi kenaikan suhu hingga di bawah 1,5°C. Pernyataan tersebut tertuang dalam dokumen *Enhanced Nationally Determined Contribution* (ENDC) yang berisikan komitmen target penurunan emisi GRK sebesar 31,89% (CM1) dan sampai dengan 43% (CM2) dibandingkan *business as usual* (BAU) pada tahun 2030 (KLHK, 2022). *Enhanced Nationally Determined Contribution* (ENDC) Indonesia terangkum dalam sektor-sektor; Energi, Pertanian, *Forestry and other Land Uses* (FOLU), *Industrial Process and Production Use* (IPPU) serta *waste*. Dalam record *Enhanced Nationally Determined Contribution* (ENDC) Indonesia, sektor *Forestry and Other Land Use* (FOLU) atau sektor kehutanan dan lahan, diproyeksikan memberikan kontribusi hampir 60% dari total target penurunan emisi gas rumah kaca. Dengan demikian penanganan pengendalian Gas Rumah Kaca (GRK) pada sektor kehutanan menjadi sangat penting bagi Indonesia dan dalam agenda climate actions global (Kemen LHK, 2022).

Menurut Schiemann, *et al*, (2015), pengungkapan emisi karbon penting dilakukan oleh perusahaan sebagai informasi kepada publik dan sebagai bentuk ketaatan perusahaan terhadap peraturan-peraturan yang mengatur permasalahan perubahan iklim melalui *emission trading schemes*. Hal tersebut menyebabkan peningkatan minat pasar dan investor terkait informasi karbon untuk mengetahui tanggapan perusahaan terkait isu tersebut (Weinhofer dan Busch, 2013). Pengungkapan emisi karbon juga menjadi perhatian para akademisi dilihat dari banyaknya penelitian terkait dampak perusahaan terhadap climate change (Boons, 2013). Oleh karena itu, penelitian ini penting dilakukan di perusahaan HTI/HPH yang memiliki hutan lindung karena selain melakukan pemanenan, perusahaan juga turut andil dalam menjaga simpanan karbon hutan. Albirizio (2017) menyatakan bahwa perusahaan yang memperhatikan nilai lingkungan kian menarik minat investor. Penelitian ini sejalan dengan McLaughlin (2011), pengungkapan emisi karbon membantu investor mengestimasi aturan perusahaan dan risiko yang berkaitan dengan climate change (kekeringan, banjir, dsb).

Menurut Permen LHK No 7/2023, Perizinan Berusaha Pemanfaatan Hutan (PBPH) adalah perizinan berusaha yang diberikan kepada pelaku usaha untuk memulai dan menjalankan usaha dan/atau kegiatan pemanfaatan hutan. Banyaknya perusahaan PBPH yang memiliki kawasan lindung menjadikan penelitian ini penting dilakukan sebagai kewajiban perusahaan dalam mengelola hutan lindung dan mengetahui potensi simpanan karbonnya yang dilakukan melalui mekanisme Nilai Ekonomi Karbon (NEK). Nilai Ekonomi Karbon (NEK) adalah nilai terhadap setiap unit emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari kegiatan manusia dan kegiatan ekonomi (Perpres 98 tahun 2021). Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon (NEK) dilakukan melalui 4 mekanisme, yaitu perdagangan karbon, pembayaran berbasis kinerja, pungutan atas karbon dan mekanisme lain sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (Permen LHK No 21/2022). Berdasarkan mekanisme tersebut penghitungan cadangan karbon pada penelitian ini penting dilakukan perusahaan untuk memperoleh informasi berupa luasan areal yang terdeforestasi sehingga dapat membantu perusahaan dalam melakukan pengurangan emisi dari deforestasi dan degradasi hutan. Penelitian ini juga penting bagi perusahaan pemegang PBPH untuk melakukan multi usaha melalui pemanfaatan kawasan dan jasa lingkungan dalam bentuk bisnis karbon sehingga pemenuhan target NDC (*Nationally Determined Contribution*) di sektor kehutanan dapat terpenuhi dan sekaligus memberikan *income* bagi perusahaan.

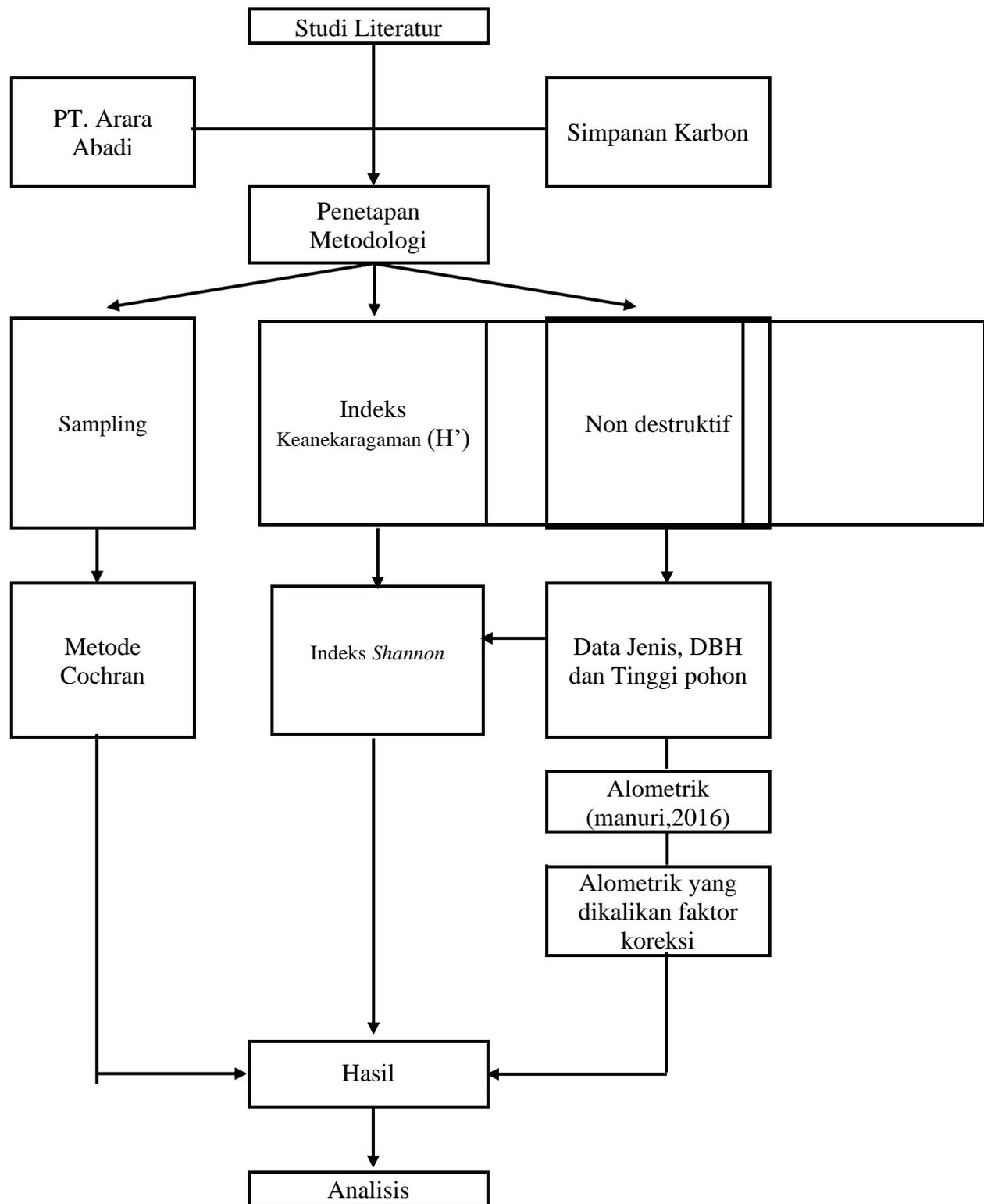
1.2. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan, penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui struktur dan komposisi vegetasi di Arboretum PT. Arara Abadi
2. Mengestimasi nilai ketersediaan biomassa atas tanah (*Above Ground Biomass*) di Arboretum PT. Arara Abadi
3. Mengestimasi nilai simpanan karbon di Arboretum PT. Arara Abadi

1.3. Kerangka Pemikiran

Simpanan karbon adalah akumulasi/penjumlahan dari keseluruhan gudang karbon (carbon pool) yang diukur yang meliputi biomasa permukaan, bawah permukaan, nekromasa, serasah, dan tanah (Murdiyarso *et al.* 2017) di dalam hutan. Nilai besaran karbon dapat diperoleh melalui perhitungan biomassa tegakan dengan melakukan metode *non-destruktive*. Inventarisasi karbon hutan memiliki 4 *carbon pool* salah satunya biomassa atas permukaan, yaitu semua material hidup di atas permukaan. Penelitian ini menggunakan biomassa permukaan atas dengan melakukan pengukuran DBH dan tinggi batang pohon. Langkah awal sebelum melakukan pengukuran di lapangan adalah dengan menentukan jumlah minimal sampel yang mewakili keseluruhan luas lokasi penelitian. Jumlah minimal sampel diperoleh dengan menggunakan rumus sampling Cochran. Biomassa total yang diperoleh kemudian dikonversi menjadi simpanan karbon tC/ha. Nilai simpanan karbon yang diperoleh kemudian dilakukan analisis statistik untuk mengetahui besar *sampling error* yang terdapat dalam data. Kerangka pemikiran dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Kerangka pemikiran

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Hutan

Hutan adalah suatu kesatuan ekosistem berupa hamparan lahan berisi sumberdaya alam hayati yang didominasi pepohonan dalam persekutuan alam lingkungannya, yang satu dengan yang lainnya tidak dapat dipisahkan (Undang-undang Nomor 41 Tahun 1999). Menurut Indriyanto (2006), kegiatan konversi hutan menjadi peruntukan lain memicu terjadinya pelepasan karbon dalam jumlah besar ke atmosfer. Dampak langsung dengan adanya kegiatan konversi hutan tersebut yaitu terlepasnya cadangan karbon dalam biomassa tumbuhan dan memicu terjadinya degradasi tanah yang menyebabkan terlepasnya karbon dari bahan organik tanah. Berkurangnya vegetasi hutan dapat menyebabkan penurunan jumlah kandungan karbon dalam tutupan hutan serta penurunan fungsi penyerapan karbon oleh hutan. Perubahan vegetasi penutup lahan juga menyebabkan tidak terjadinya proses penyerapan karbon sehingga yang terjadi bukan hanya pelepasan cadangan karbon di hutan namun juga hilangnya fungsi penyerapan karbon oleh hutan. Hal yang sama terjadi dalam proses degradasi hutan.

Hutan berperan dalam upaya peningkatan penyerapan CO₂ dimana dengan bantuan cahaya matahari dan air dari tanah, vegetasi yang berklorofil mampu menyerap CO₂ dari atmosfer melalui proses fotosintesis (Kyrklund, 2018). Hasil dari proses fotosintesis ini antara lain disimpan dalam bentuk biomassa yang menjadikan vegetasi tumbuh menjadi semakin besar atau semakin tinggi. Pertumbuhan ini akan berlangsung terus menerus 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 simpanan karbon tetapi tidak dapat menyerap CO₂

berlebih. Dengan adanya hutan lestari maka jumlah karbon yang disimpan akan semakin banyak dan semakin lama. Oleh karena itu, kegiatan penanaman vegetasi pada lahan yang kosong atau merehabilitasi hutan yang rusak akan membantu menyerap kelebihan CO₂ di atmosfer. Perubahan iklim global yang terjadi akhir-akhir ini disebabkan karena terganggunya keseimbangan energy anatar bumi dan atmosfer. Keseimbangan tersebut dipengaruhi oleh peningkatan gas-gas asam arang atau karbondioksida (CO₂) (Kyrklund, 2018).

Indonesia merupakan negara yang berada di garis katulistiwa yang dimana memiliki hutan tropis yang lebih luas sehingga berperan penting dalam mengurangi laju perubahan iklim. Pada saat ini isu perubahan iklim menjadi tantangan besar karena perlu adanya kewaspadaan terhadap fenomena ketidakaturan cuaca seperti badai, angin topan, hujan lebat dan perubahan musim tanam. Fenomena-fenomena tersebut dapat terjadi karena adanya pemanasan global (*global warming*) yang dipicu dari meningkatnya kandungan gas rumah kaca (Triana, 2008). *Green house effect* atau efek rumah kaca adalah sebuah kondisi di mana suhu dari sebuah benda permukaan langit, seperti planet dan bintang, meningkat secara drastis. Meningkatnya suhu ini disebabkan karena adanya perubahan kondisi dari komposisi serta keadaan atmosfer yang mengelilingi benda langit tersebut. Saat pantulan cahaya matahari sampai di atmosfer serta permukaan bumi, sekitar 70 persen dari energi tersebut diserap bumi. Tiga puluh persen sisanya dipantulkan kembali ke luar angkasa melalui permukaan reflektif. 70 persen panas yang diserap tadi tidak benar benar selamanya ada di bumi karena benda benda di sekitar planet yang menyerap cahaya matahari seringkali meradiasikan kembali panas yang diserapnya. Sebagian panas tersebut masuk ke ruang angkasa, tinggal di sana dan akan dipantulkan kembali ke bawah permukaan bumi, ketika mengenai zat yang berada di atmosfer. Seperti karbon dioksida, gas metana dan uap air (Pratama, 2019).

2.2. Hutan Lindung

Hutan lindung Indonesia mempunyai fungsi penting dalam menjaga ekosistem dan biodiversiti dunia (Ginoga *et al.*, 2005). Apabila hutan lindung diganggu, maka hutan tersebut akan kehilangan fungsinya sebagai pelindung,

bahkan erosi, mencegah ilustrasi, air laut dan akan menimbulkan bencana alam seperti banjir, tanah longsor dan erosi dan kemungkinan akan berakibat fatal dalam kawasan tersebut. Aset utama dari hutan lindung ini yaitu pepohonan yang berdiri sebagai penghalang untuk menurunkan gerakan massa seperti batu karang, erosi, longsor tanah, aliran puing, dan banjir. Efek perlindungan dari hutan lindung ini hanya dapat dipastikan jika tata kelola sistem silvikultur yang digunakan ketahanannya tidak memberikan dampak buruk yang signifikan terhadap lingkungan sekitar (Hastuti *et al.*, 2021).

Hutan lindung Indonesia mempunyai fungsi penting dalam menjaga ekosistem dan biodiversiti dunia. Sebagai negara dengan luas hutan terbesar ketiga setelah Brasil dan Zaire, fungsi hutan Indonesia dalam melindungi ekosistem lokal, nasional, regional dan global sudah diakui secara luas. Dari fungsi biodiversiti, Indonesia dikenal sebagai pemilik 17 % spesies dunia, walaupun luas wilayahnya hanya 1.3 % dari luas wilayah dunia. Diperkirakan Indonesia memiliki 11 % species tumbuhan berbunga yang sudah diketahui, 12 % binatang menyusui, 15 % amfibi dan reptilia, 17 % jenis burung dan sekitar 37 % jenis-jenis ikan yang ada di dunia (KLH dan UNESCO, 1992). Kemewahan tersebut suatu ketika akan punah dan hilang, jika pengelolaan hutan lindung tidak dilakukan secara bijaksana dan berkelanjutan, dan didukung oleh kebijakan dan peraturan perundangan yang jelas.

Berdasarkan peraturan perundangan yang ada, diantaranya Undang-Undang No. 41/1999 pasal 1, hutan lindung didefinisikan sebagai kawasan hutan yang mempunyai fungsi pokok sebagai perlindungan sistem penyangga kehidupan untuk mengatur tata air, mencegah banjir, mengendalikan erosi, mencegah intrusi air laut dan memelihara kesuburan tanah. PP 44/2004 tentang Perencanaan Kehutanan dan Keppres No. 32/1990 tentang Pengelolaan Kawasan Lindung, menyebutkan enam kriteria hutan lindung yaitu kawasan hutan yang mempunyai lereng lapangan 40 persen atau lebih, mempunyai ketinggian di atas permukaan laut 2000 meter atau lebih, kawasan dengan faktor kelas lereng, jenis tanah dan intensitas hujan setelah masing-masing dikalikan dengan angka penimbang mempunyai jumlah nilai skor 175 atau lebih, kawasan hutan yang mempunyai tanah sangat peka terhadap erosi dengan lereng lapangan lebih dari 15 persen, kawasan yang merupakan daerah resapan air, dan kawasan hutan yang merupakan daerah perlindungan pantai.

Dari kriteria tersebut dapat dimengerti mengapa hutan ini diperuntukan terutama untuk fungsi perlindungan ekosistem, bukan untuk produksi kayu atau perolehan pendapatan dalam jumlah besar dalam waktu yang singkat.

UU No. 41/1999 dan PP No. 34/2002 menyebutkan pula bahwa bentuk pemanfaatan hutan lindung terbatas pada pemanfaatan kawasan, pemanfaatan jasa lingkungan, dan pemungutan hasil hutan bukan kayu (HHBK). Pemanfaatan kawasan pada hutan lindung dapat berupa budidaya tanaman obat, perlebahan, penangkaran. Sedangkan pemanfaatan jasa lingkungan adalah bentuk usaha yang memanfaatkan potensi hutan lindung dengan tidak merusak lingkungan seperti ekowisata, wisata olah raga tantangan, pemanfaatan air, dan perdagangan karbon. Bentuk-bentuk pemanfaatan ini ditujukan untuk meningkatkan pendapatan daerah, peningkatan kesejahteraan dan kesadaran masyarakat sekitar hutan akan fungsi dan kelestarian hutan lindung.

2.3. Arboretum

Arboretum menurut Kementerian Kehutanan (2007), merupakan salah satu faktor penunjang yang sangat esensial dalam rangka kegiatan penelitian dan pengembangan hutan. Tujuan dibangunnya arboretum adalah sebagai berikut : 1). koleksi contoh hidup jenis-jenis pohon; 2). pelestarian jenis pohon secara ex-situ; 3). tempat praktek pengenalan jenis pohon; 4). sumber benih dalam jumlah terbatas serta tempat wisata ilmiah. Menurut KBBI (Depdikbud, 1989 dalam Noer, 2013), Arboretum merupakan tempat berbagai pohon ditanam dan dikembangkan untuk tujuan penelitian dan pendidikan. Tumbuhan didalam arboretum dipelihara dan diberi keterangan nama serta beberapa informasi lainnya yang berguna bagi pengunjung. Arboretum sebagai kawasan konservasi yang bertujuan untuk mempertahankan jenis-jenis pohon dan manfaat ekologi tentu memiliki berbagai tanaman atau pohon yang memiliki nilai yang ekonomi tinggi (Khairilkasdi *et al.*, 2017). Arboretum merupakan koleksi yang khusus diisi dengan pepohonan dalam melakukan kegiatan konservasi. Pada umumnya arboretum menampung semua jenis tanaman, baik yang langka maupun yang dibudidayakan. Penanaman pohon dalam arboretum biasanya disesuaikan dengan keadaan di alam, tanpa memperhatikan jarak tanam dan arahnya (Noer, 2013).

Arboretum PT. Arara Abadi diklasifikasikan sebagai kawasan hutan lindung yang dimana di dalam perencanaan tata ruang HTI, kawasan lindung dimanfaatkan sebagai koridor satwa liar dalam melakukan mobilitas, area dengan kemiringan tinggi yang rawan terhadap erosi dan longsor, kawasan tangkapan air dan habitat spesies endemik ataupun langka. Arboretum ini dikelola berdasarkan tata ruang PT. Arara Abadi Distrik Rasau kuning, Minas Area, Kabupaten Siak, Provinsi Riau. Kawasan ini dilindungi oleh UU No. 5 Tahun 1990 dengan luas ± 170 hektar. Arboretum ini merupakan kawasan lindung dengan tipe hutan dataran rendah yang didominasi pohon dari family *dipterocarpaceae*. Berdasarkan data dari perusahaan, terdapat 135 spesies tanaman berbunga dan 16 spesies palma. Spesies endemik yang terdapat di arboretum adalah Kulim/pohon bawang (*Scorodocarpus borneensis*), Suntain (*Palaquium gutta*), Meranti batu (*Shorea platycarpus*), Meranti kunyit (*Shorea leprosula*). Arboretum ini juga memiliki potensi hasil hutan non kayu (HHNK) yang dapat dimanfaatkan masyarakat dan juga memberi jasa lingkungan serta rekreasi. Perusahaan memberikan izin kepada masyarakat dalam memanfaatkan hasil hutan non kayu seperti pemanfaatan buah Kulim sebagai sayur-sayuran, pengambilan madu dari sarang lebah yang pada pepohonan di arboretum. Satwa liar yang dapat ditemukan di arboretum berupa mamalia, reptil, burung dan ikan yang berjumlah keseluruhan 26 spesies. Mamalia besar yang dapat ditemui adalah gajah (*Elephas maximus*), Beruang (*Helarctis malayanus*), Kijang (*Muntiacus muntjak*), Monyet ekor panjang (*Macaca fascicularis*). Terdapat juga burung besar yang dilindungi seperti burung Enggang atau Hornbill (*Buceros rhinoceros*) dan burung Raja Udang (*Alchedo atthis*) yang sering bertengger pada cabang-cabang pepohonan sepanjang aliran sungai. Gajah-gajah yang terdapat pada arboretum merupakan gajah binaan BKSDA yang diadopsin pada tahun 1998 dan sekarang berkembang menjadi 6 ekor.

Arboretum ini memiliki lintasan alam yang pohonnya sudah diidentifikasi dan dilabeli dengan nama lokal dan nama latinnya. Perusahaan menyediakan fasilitas ini guna menjalankan tujuan dari perusahaan untuk mengembangkan tempat ini sebagai pusat pendidikan ekologi, biologi dan botani. Perusahaan juga membangun nursery/pembibitan dan koleksi spesies tanaman lokal. Bibit pada

nursery ini diperoleh dari hasil kutipan anakan pohon di kawasan arboretum. Setiap bulan nursery ini menghasilkan sekitar 2500 batang bibit yang dibudidayakan.

2.4. PT. Arara Abadi

PT Arara Abadi merupakan perusahaan yang bergerak di bidang kehutanan dalam rangka pemenuhan bahan baku Pulp ke IKPP Perawang. PT Arara Abadi didirikan di Jakarta berdasarkan Akta Notaris No. 213 tanggal 09 Agustus 1974 tentang Pendirian Perusahaan Perseroan Terbatas PT Arara Abadi dihadapan Notaris Raden Soeratman, SH. PT Arara Abadi terletak di Desa Pinang Sebatang, Kecamatan Tualang, Kabupaten Siak, Riau. Luas areal konsesi PT Arara Abadi berdasarkan SK Mentri Kehutanan No. 743/kpts-II/1996 tanggal 25 November 1996 ± 299,975 ha. Kawasan HTI PT Arara Abadi tersebar pada 4 area, yaitu area Minas, Siak, Duri, Rokan dan Pelalawan (Ringkasan Publik PT. Arara Abadi, 2018) Setiap area terbagi menjadi beberapa distrik yang dibagi berdasarkan letak menurut administrasi. PT Arara Abadi telah merealisasikan tanaman seluas 398.269 ha selama 21 tahun beroperasi atau rata-rata hanya seluas 18.900 ha setiap tahun (Herlangga,2017)

Hutan Tanaman Industri (HTI) merupakan kawasan hutan produksi yang menerapkan budidaya kehutanan (silvikultur) secara intensif untuk memenuhi bahan baku industri kehutanan, baik kayu maupun non kayu. Di tengah semakin langkanya hutan produksi alam, HTI menjadi tumpuan produksi hasil hutan masa depan (Risnandar, 2015). Hak Pengusahaan Hutan Tanaman Industri (HPHTI), sekarang istilahnya diganti PBPH HT (Perizinan Berusaha Pemanfaatan Hutan pada Hutan Tanaman). PT. Arara Abadi ialah salah satu anak perusahaan Sinarmas *group* yang bergerak dibidang hutan tanaman industri. Salah satu produk yang dihasilkan adalah *chip wood* yang akan dikirim sebagai bahan baku pembuatan *pulp* atau bubur kertas ke PT. IKPP. PT. Arara Abadi mengelola hutan secara lestari berdasarkan ketentuan-ketentuan pengelolaan hutan lestari yang memperhatikan aspek produksi, aspek ekologi, dan aspek sosial. Kebijakan perusahaan ini bertujuan agar pengelolaan hutan di PT. Arara Abadi tetap ramah lingkungan dan dapat diterima oleh masyarakat yang tentunya juga dapat menguntungkan secara ekonomi bagi masyarakat.

PT. Arara Abadi telah menjalankan metode pembersihan lahan yang bertujuan untuk mengurangi kebakaran hutan berdampak buruk bagi flora, fauna dan polusi udara. Metode ini dilakukan sejak tahun 1994 berdasarkan regulasi pemerintah agar tujuan diatas dapat terwujudkan. Penanaman *accacia* seluas 26.600 hektar dilakukan melalui penebangan hutan yang dioperasikan dengan mesin dan semi mesin. Pengadaan pembibitan yang dilakukan PT. Arara Abadi dilakukan dengan mendirikan unit pembibitan modern yang menghasilkan 70 juta bibit pertahun. PT. Arara Abadi juga mengadakan sistem pemotong untuk memasok 50% penanaman guna tercukupinya kebutuhan conal multilication area seluas ± 40 hektar sebagai sumber dalam pemotongan akar dari stick elite genetic. Penggunaan sistem pemotongan yang digunakan untuk pemotongan dalam tabung bertujuan dalam menghasilkan pohon yang sama dana membuat kontrol lebih dekat untuk serat pulp dan keseragaman (Jordan, 2022).

PT. Arara Abadi Menyusun Rencana Kerja Usaha Pemanfaatan Hasil Hutan Kayu pada Hutan Tanaman (RKUPHHK-HT) yang dimana hal ini merupakan rencana perusahaan jangka panjang dalam penerapan aspek produksi, ekologi dan sosial. Aspek produksi diimplementasikan dalam 10 bentuk kegiatan, yaitu :

- a. Perencanaan,
- b. Tata ruang konsesi,
- c. Penataan batas,
- d. Pembukaan wilayah hutan,
- e. Pembibitan,
- f. Penyiapan lahan,
- g. Penanaman,
- h. Pemeliharaan tanaman,
- i. Perlindungan dan pengamanan hutan,
- j. Pemanenan.

Implementasi aspek ekologi yang direncanakan bertujuan agar perubahan bentuk suatu lingkungan yang disebabkan oleh kegiatan pembangunan hutan tanaman ini dapat dikendalikan sebaik mungkin. Berdasarkan tujuan tersebut, dilakukan kegiatan pengelolaan dan pemantauan lingkungan di HTI PT. Arara Abadi pada 3 kelompok areal, yaitu:

- a. Areal kawasan lindung
- b. Areal tidak efektif untuk produksi
- c. Areal efektif untuk produksi

Aspek selanjutnya yang perlu diimplementasikan adalah aspek sosial. Cara dalam mewujudkan aspek sosial dilakukan dalam 4 bentuk, yaitu :

- a. Kebijakan Pembangunan sosial Masyarakat
- b. Kondisi dan permasalahan sosial masyarakat
- c. Program pemberdayaan masyarakat
- d. Ketenagakerjaan

Penetapan sistem silvikultur pada HTI PT. Arara Abadi dilakukan dengan memperhatikan aspek biofisik dan sosial guna memperoleh hasil hutan yang lestari. Sistem silvikultur yang digunakan PT. Arara Abadi saat ini adalah sistem silvikultur THPB (Tebang Habis Permudaan Buatan) yang dimana dilakukan penebangan habis semua pohon yang terdapat dalam tegakan hutan, sedangkan permudaannya dilakukan dengan mengadakan penanaman kembali pada areal bekas tebangan habis tersebut, dengan tujuan untuk memperoleh tegakan hutan baru yang seumur dan bernilai tinggi sesuai dengan tujuan perusahaan. Berdasarkan kondisi biofisik lahan/ areal kerja, PT. Arara Abadi terbagi dalam dua jenis sebaran tanah, yaitu tanah mineral dan tanah rawa gambut. Mengacu pada hasil riset yang telah dilakukan oleh R&D PT. Arara Abadi, perusahaan untuk melakukan pengembangan jenis *Eucalyptus sp* di areal tanah mineral dan jenis *Acacia crassicarpa* di tanah rawa gambut. Pemilihan kedua jenis tanaman tersebut karena faktor tingginya tingkat resistensi terhadap hama dan penyakit dan mempunyai riap, serta rendemen pulp lebih tinggi (Ringkasan Publik PT. Arara Abadi, 2018)

PT. Arara Abadi memiliki kawasan yang dekat dengan masyarakat sehingga PT. Arara Abadi juga menjalankan CSR yang telah dicantumkan pada UU No.40 Tahun 2007 tentang perseroan terbatas meliputi, :Tanggung jawab sosial dan lingkungan (TJSL) adalah komitmen perseroan untuk berperan serta dalam pembangunan ekonomi berkelanjutan guna meningkatkan kualitas kehidupan dan lingkungan yang bermanfaat, baik bagi perseroan sendiri, komunitas setempat, maupun masyarakat pada umumnya. Pengadaan CSR tersebut merupakan upaya

perusahaan dalam menjaga hubungan yang baik terhadap pemerintah dan masyarakat (Herlangga, 2017).

2.5. Biomassa

Biomassa adalah suatu produk berbentuk padatan yang dihasilkan oleh alam (Vassilev *et al.*, 2010) dalam bentuk tumbuh-tumbuhan yang tersusun dari senyawa hidrokarbon (C, H, O dan N). Biomassa adalah total berat atau volume organisme dalam suatu area atau volume tertentu (a glossary by the IPCC, 1995). Menurut Brown, 1997 biomassa diartikan sebagai total jumlah materi hidup di atas permukaan pada suatu pohon dan dinyatakan dengan satuan ton berat kering per satuan luas Terdapat kurang lebih 90 % biomassa di permukaan bumi yang terdapat dalam hutan berbentuk pokok kayu, dahan, daun, akar, sampah hutan (serasah), hewan, dan jasad renik (Arief, 2005). Biomassa ini merupakan tempat penyimpanan karbon dan disebut rosot karbon (*carbon sink*).

Studi terkait biomassa terdapat banyak istilah-istilah yang merujuk pada suatu studi tersebut. Menurut Clark (1979), ada beberapa istilah dalam biomassa yaitu :

- a. Biomassa hutan (*Forest biomass*) adalah keseluruhan volume makhluk hidup dari semua species pada suatu waktu tertentu dan dapat dibagi ke dalam 3 kelompok utama yaitu pohon, semak dan vegetasi yang lain.
- b. Pohon secara lengkap (*Complete tree*) berisikan keseluruhan komponen dari suatu pohon termasuk akar, tunggul /tunggak, batang, cabang dan daun-daun.
- c. Tunggul dan akar (*Stump and roots*) mengacu kepada tunggul, dengan ketinggian tertentu yang ditetapkan oleh praktek-praktek setempat dan keseluruhan akar. Untuk pertimbangan kepraktisan, akar dengan diameter yang lebih kecil dari diameter minimum yang ditetapkan sering dikesampingkan.
- d. Batang di atas tunggul(*Tree above stump*) merupakan seluruh komponen pohon kecuali akar dan tunggul. (Dalam kegiatan *forest biomass inventories*, pengukuran sering dikatakan bahwa biomassa di atas tunggul/tunggak ditetapkan sebagai biomassa pohon secara lengkap.
- e. Batang (*stem*) adalah komponen pohon mulai di atas tunggul hingga ke pucuk dengan mengecualikan cabang dan daun.

- f. Batang komersial adalah komponen pohon di atas tunggul dengan diameter minimal tertentu.
- g. Tajuk pohon (*Stem topwood*) adalah bagian dari batang dari diameter ujung minimal tertentu hingga ke pucuk, bagian ini sering merupakan komponen utama dari sisa pembalakan.
- h. Cabang (*branches*) semua dahan dan ranting kecuali daun.
- i. Dedaunan (*foliage*) semua duri-duri, daun, bunga dan buah

Menurut Sutaryo (2009), penghitungan biomassa dapat dilakukan dengan 4 metode utama dimana pada setiap metode-metode tersebut menggunakan persamaan allometrik guna mengekstrapolasi cuplikan data ke area yang lebih luas. Metode-metode utama dalam penghitungan biomassa yaitu, :

- Sampling dengan pemanenan (*Destructive sampling*) secara *in situ*
- Sampling tanpa pemanenan (*Non-destructive sampling*) dengan data pendataan hutan secara *in situ*
- Pendugaan melalui penginderaan jauh
- Pembuatan model

Persamaan allometrik standard yang banyak digunakan seringkali mengalami galat (*error*) secara signifikan dalam mengestimasi biomassa suatu tegakan karena koefisien persamaan ini variatif pada setiap lokasi dan spesies (Heiskanen, 2006; Australian Greenhouse Office, 1999).

Pohon (dan organisme foto-ototrof lainnya) melalui proses fotosintesis menyerap CO₂ dari atmosfer dan mengubahnya menjadi karbon organik (karbohidrat) dan menyimpannya dalam biomassa tubuhnya seperti dalam batang, daun, akar, umbi buah dan-lain-lain. Biomassa diatas permukaan pohon/hutan dapat diestimasi melalui 2 pendekatan, yaitu pendekatan langsung dengan membuat persamaan allometrik dan pendekatan tidak langsung dengan menggunakan "*biomass expansion factor*" (Sutaryo, 2009). Faktor yang mempengaruhi dilakukannya pendekatan secara tidak langsung adalah kesulitan dalam mengestimasi tingkat tegakan dari hutan yang kanopinya rapat sehingga tidak memungkinkan untuk melakukan estimasi pohon secara individu (IPCC, 2003).

Hutan di Indonesia menyimpan jumlah karbon yang sangat besar. Menurut FAO, jumlah total vegetasi hutan Indonesia meningkat lebih dari 14 miliar ton biomassa, jauh lebih tinggi daripada negara-negara lain di Asia dan setara dengan 20% biomassa di seluruh hutan tropis di Afrika. Jumlah biomassa ini secara kasar menyimpan 3,5 miliar ton karbon (FWI, 2003). Menurut 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.

Biomassa dapat diukur secara akurat melalui penebangan, pengeringan, dan penimbangan, akan tetapi cara tersebut tidak efisien dan membutuhkan biaya yang cukup besar. Menurut Hairiah dan Rahayu (2007), simpanan karbon diestimasi dari bimasannya dengan mengikuti aturan 46% biomassa adalah karbon. Adapun metode estimasi biomassa salah satunya adalah alometrik. Estimasi dilakukan dengan cara mengukur diameter batang pohon setinggi dada yang terdapat pada plot penelitian.

2.6. Karbon

Karbon atau zat arang adalah salah satu unsur yang terdapat dalam bentuk padat maupun cairan di dalam perut bumi, di dalam batang pohon, atau dalam bentuk gas di udara atmosfer. Menurut Hairiah dan Rahayu (2007), karbon yang terdapat di atas permukaan tanah terdiri atas biomassa pohon, biomassa tumbuhan bawah (semak belukar, tumbuhan menjalar, rumput-rumputan atau gulma), nekromassa (batang pohon mati) dan serasah (bagian tanaman yang telah gugur dan ranting yang terletas di permukaan tanah). Sedangkan karbon di dalam tanah meliputi biomassa akar serta bahan organik tanah (sisa tanaman, hewan dan manusia yang telah menyatu dengan tanah akibat pelapukan). Hutan alami yang keanekaragaman spesiesnya tinggi dengan serasah melimpah merupakan gudang penyimpanan karbon yang baik.

Karbon di udara mempunyai peranan yang sangat penting dalam proses fotosintesis. Tumbuhan memerlukan sinar matahari, gas asam arang (CO_2) yang

diserap dari udara serta air dan hara yang diserap dari dalam tanah untuk kelangsungan hidupnya. Melalui proses fotosintesis, karbon di udara diserap oleh tanaman dan diubah menjadi karbohidrat, kemudian disebarkan ke seluruh tubuh tanaman dan akhirnya ditumbun dalam tubuh tanaman berupa daun, ranting, batang, bunga dan buah (Hairiah dan Rahayu, 2007). Proses penimbunan karbon dalam tubuh tanaman hidup dinamakan proses sekuestrasi, dengan demikian mengukur jumlah karbon yang disimpan dalam tubuh tanaman hidup (biomassa) pada suatu lahan dapat menggambarkan banyaknya jumlah CO₂ yang diserap oleh tanaman. Informasi ini juga sangat penting sebagai komponen dasar dalam perhitungan dan pemantauan karbon nasional yang merupakan input utama untuk mengembangkan strategi penurunan gas rumah kaca, terutama karbon sektor lahan (Yuningsih *et al.*, 2018).

Tim Arupa (2014) mendefinisikan karbon (C) sebagai unsur kimia dengan nomor atom 6 dan merupakan unsur bukan logam yang apabila terlepas di udara dan terikat dengan oksigen maka karbon akan menjadi CO₂. Umumnya karbon menyusun 45 - 50 % bahan kering dari tanaman. Sejak kandungan karbondioksida meningkat secara global di atmosfer dan dianggap sebagai masalah lingkungan, berbagai ekologi tertarik untuk menghitung jumlah karbon yang tersimpan di hutan (Sofiyuddin, 2007). Menurut Dury *et al* (2002) dalam Ginoga (2004), dalam tegakan hutan karbon terdapat pada:

- a. Pohon dan akar (Tr), yaitu pada biomassa hidup baik yang terdapat di atas permukaan tanah atau di bawah permukaan dari berbagai jenis pohon, termasuk batang, daun, cabang, dan akar;
- b. Vegetasi lain (OV), yaitu pada vegetasi bukan pohon (semak, belukar, herba, dan rerumputan);
- c. Sampah hutan, yaitu pada biomassa mati di atas lantai hutan, termasuk sisa pemanenan; dan
- d. Tanah (S), yaitu pada karbon tersimpan dalam bahan organik (humus) maupun dalam bentuk mineral karbon. Karbon dalam tanah mungkin mengalami peningkatan atau penurunan tergantung pada kondisi tempat sebelumnya dan kondisi pengolahan.

Mekanisme tanaman dalam menyerap karbon yaitu melalui proses fotosintesis. Fotosintesis adalah proses penyusunan energi menggunakan cahaya pada organisme yang memiliki kloroplas. 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). Proses fotosintesis diawali dengan reaksi terang pada reaksi terang energi matahari di convert ke chemical energi dan diproduksi oksigen. Lalu tahap yang kedua adalah siklus calvin yang membuat molekul gula dari karbon yang membutuhkan energi ATP yang didapat dari proses respirasi. Siklus ini juga membawa hasil produksi dari reaksi terang (Salsabillah, 2019).

Karbon dapat ditemukan pada makhluk hidup, baik yang sudah mati ataupun masih hidup. Dalam sebuah ekosistem hutan karbon dapat ditemukan pada pohon (baik yang hidup atau mati), tumbuhan bawah (baik yang hidup atau mati), serasah hutan, dan tanah. Karbon-karbon dapat ditemukan dalam makhluk hidup yang melalui fotosintesis kemudian karbon ini akan bersifat padat. Saat lepas ke udara, karbon (C) akan berikatan dengan oksigen (O) yang kemudian menjadi zat asam arang (CO_2). Zat asam arang inilah yang berbahaya dan akan merusak gas rumah kaca jika berlebihan (Tim Arupa, 2014). Keberadaan karbon sangat dipengaruhi oleh jumlah biomassa pohon, tumbuhan bawah dan nekromassa, sehingga menyebabkan bertambah atau berkurangnya potensi biomassa akan berpengaruh terhadap jumlah serapan karbon (Chanan, 2012). Pada umumnya unsur karbon menyusun 45-50% bahan kering (biomassa) dari tanaman.

Sejak jumlah CO_2 meningkat secara drastis di atmosfer sebagai masalah lingkungan global, berbagai pakar ekologi tertarik untuk menghitung jumlah karbon yang tersimpan di hutan. Kegiatan deforestasi menghasilkan emisi tahunan yang tinggi dan memberikan kontribusi yang besar terhadap efek rumah kaca. Emisi gas terbesar yang dihasilkan kegiatan deforestasi adalah CO_2 Karbon tersimpan dalam bahan yang sudah mati seperti serasah, batang pohon yang jatuh ke permukaan tanah, dan sebagai material sukar lapuk di dalam tanah (Salsabillah, 2019). Dinamika karbon di alam dapat dijelaskan secara sederhana dengan siklus karbon. Siklus karbon adalah siklus biogeokimia yang mencakup pertukaran

/perpindahan karbon diantara biosfer, pedosfer, geosfer, hidrosfer dan atmosfer bumi. Siklus karbon sesungguhnya merupakan suatu proses yang rumit dan setiap proses saling mempengaruhi proses lainnya (Sutaryo, 2009).

2.7. Simpanan Karbon

Hutan merupakan penyerap karbon (*sink*) terbesar dan berperan penting dalam siklus karbon global, akan tetapi hutan juga dapat menghasilkan emisi karbon (*source*). Hutan dapat menyimpan karbon sekurang-kurangnya 10 kali lebih besar dibandingkan dengan tipe vegetasi lain seperti padang rumput, tanaman semusim, dan tundra. Hutan alam menyimpan karbon terbesar, yaitu berkisar antara 7,5- 264,70 ton C/ha (Sugirahayu dan Rusdiana, 2011). Penyerapan karbon pada tanaman merupakan kemampuan suatu tanaman dalam menyerap karbondioksida melalui pori-pori stomata pada permukaan daun (Salisbury dan Ross, 1995). Parameter untuk menilai kemampuan suatu tanaman dalam menyerap karbondioksida dapat ditentukan pada proses fotosintesisnya. Proses fotosintesis memerlukan karbondioksida untuk mendapatkan energi dan merubahnya dalam bentuk gugus gula dan oksigen. Oleh karena itu, penentuan massa karbohidrat yang dihasilkan selama fotosintesis dapat menentukan massa karbondioksida yang diserap oleh tanaman (Sukmawati *et al.*, 2015). Menurut Purwaningsih (2007), jika massa karbohidrat yang diperoleh tinggi maka massa karbondioksida yang terkandung pada tanaman akan tinggi, sedangkan apabila massa karbohidrat yang dihasilkan rendah maka daya serapnya rendah.

Menurut Rusdiana dan Lubis (2012), hutan memiliki peranan dalam menyerap CO₂ melalui proses fotosintesis dan menyimpannya sebagai materi organik dalam biomassa tanaman. Ketika terjadi kebakaran hutan, penebangan liar, dan konversi hutan telah menyebabkan kerusakan hutan yang berakibat karbon tersimpan dalam biomassa hutan terlepas ke atmosfer dan kemampuan bumi untuk menyerap CO₂ sehingga terjadi gangguan keseimbangan energi antara bumi dan atmosfer. Pohon merupakan teknologi terbaik dan paling efisien dalam menyimpan karbon. Total karbon yang tersedia di semesta adalah 30 giga ton setiap tahunnya, 11 giga ton CO₂ di antaranya dihasilkan oleh pohon. Kemampuan tersebut tentunya menjadi bukti bahwa peran pohon sangat nyata dalam menjaga kestabilan

konsentrasi CO₂ atmosfer (Paembonan, 2020). Semakin banyak pohon yang terjaga dengan ketersediaan hutan yang kompleks maka akan mampu mencegah berbagai kerusakan alam yang umumnya terkait dengan efek rumah kaca dan pemanasan global. Tidak hanya pada pohon saja, tumbuhan bawah dan serasah merupakan sumber karbon hutan, baik dalam hal menyimpan dan menyerap karbon, serta melepas karbon melalui proses dekomposisi (Yuswandi, 2022). Pohon muda (tingkat semai, pancang, dan tiang) berpotensi besar dalam menyerap dan mengurangi kadar karbon dioksida di udara karena proses pertumbuhan pada pohon muda relatif lebih cepat dibanding dengan pohon yang sudah tua (Qirom *et al.*, 2015).

Penyerapan karbon dalam menurunkan emisi harus nyata, terukur, berjangka panjang dan bersifat permanen, tidak menimbulkan kebocoran (*leakage*) dan emisi baru. Tambahan karbon (*carbon additionality*) dihitung dibandingkan dari kegiatan sebelumnya 4 *business as usual* atau BAU). 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 (Salsabillah, 2019). Menurut Hairiah (2007), pada ekosistem daratan ada tiga faktor yang mempengaruhi besarnya penyerapan karbon, yaitu:

- a. Vegetasi : komposisi jenis, setruktur dan umur tanaman.
 - b. Kondisi tempat : variasi iklim, tanah, adanya gangguan alam (kebakaran hutan)
 - c. Pengelolaan respon ekosistem daratan terhadap peningkatan konsentrasi CO₂
- Ketiga faktor tersebut saling berinteraksi, sehingga hasil yang diperoleh akan ditentukan oleh kekuatan setiap faktor.

2.8. Allometrik Biomassa dan Simpanan Karbon

Persamaan allometrik didefinisikan sebagai suatu studi dari suatu hubungan antara pertumbuhan dan ukuran salah satu bagian organisme dengan pertumbuhan atau ukuran dari keseluruhan organisme. Menurut Parresol (1999), metode allometrik adalah metode pengukuran pertumbuhan tanaman yang dinyatakan dalam bentuk hubungan-hubungan eksponensial atau logaritma antar organ tanaman yang terjadi secara harmonis dan perubahan secara proporsional. Martin

et al., (1998) juga menegaskan bahwa persamaan allometrik dapat digunakan untuk menghubungkan antara diameter batang pohon dengan variabel yang lain seperti volume kayu biomasa pohon, dan kandungan karbon pada tegakan hutan yang masih berdiri (*standing stock*). Dalam studi biomassa hutan/pohon persamaan allometrik digunakan untuk mengetahui hubungan antara ukuran pohon (diameter atau tinggi) dengan berat (kering) pohon secara keseluruhan (Sutaryo, 2009). Biomassa hutan dapat digunakan untuk menduga simpanan karbon yang tersimpan dalam vegetasi karena 50% biomassa tersusun oleh karbon (Brown, 1997). 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 (Salsabillah, 2019).

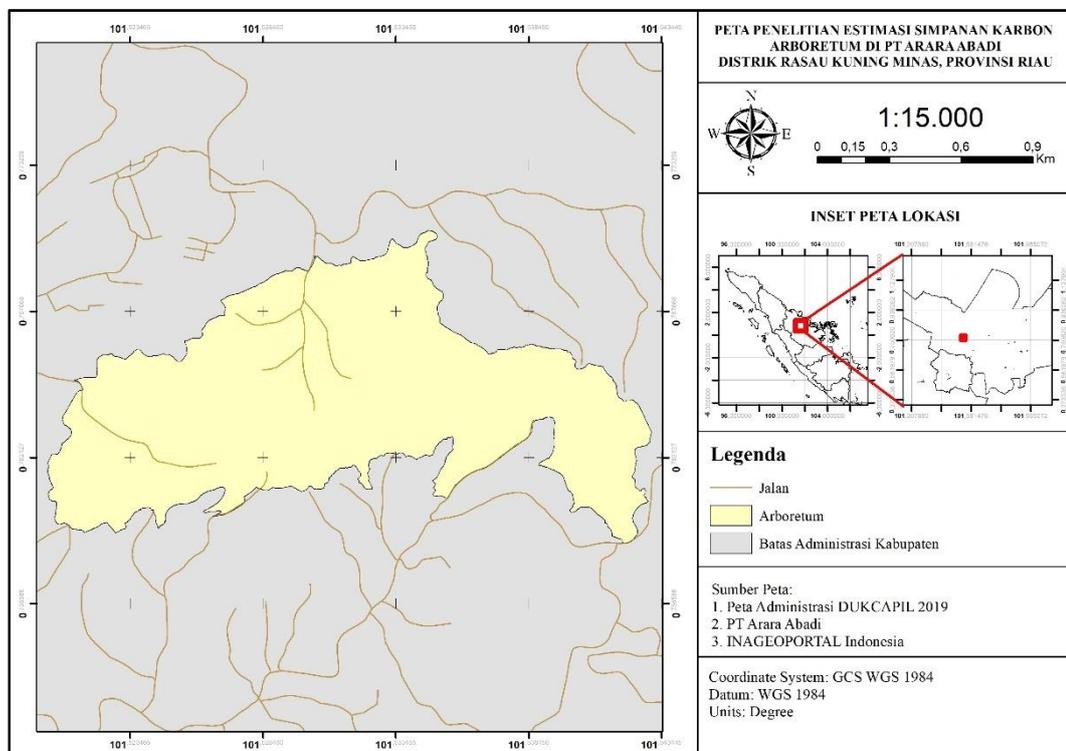
Metode penghitungan biomassa telah banyak dibahas oleh para ahli, misalnya Cordero dan Kanninen (2003), Mbaekwe dan Mackenzie (2008). Terdapat dua pendekatan yang umum digunakan untuk mengestimasi biomassa di atas permukaan dari suatu pohon atau hutan. Dua Pendekatan tersebut adalah pendekatan langsung dengan membuat persamaan allometrik dan pendekatan tidak langsung dengan menggunakan (*biomass expansion factor*)” (Ora, 2018). Pendekatan dengan persamaan allometrik dilakukan dengan memanen beberapa sampel pohon dengan cara destruktif, ditimbang berat basah dan berat kering sampel masing-masing organ tanaman, selanjutnya dibuat persamaan yang menyatakan hubungan antara variabel bergantung (*dependent variable*) berupa biomasa total (Bt) dan variabel bebas (*independent variables*) dapat berupa diameter batang (D), tinggi pohon (H), kepadatan kayu (\bar{n}), atau gabungan antara variabel-variabel tersebut. Jones (1979) mengatakan bahwa persamaan allometrik biomasa pohon hasilnya akan akurat apabila variabel bebasnya dinyatakan dalam formulasi volume pohon yang direpresentasikan dalam bentuk diameter batang kuadrat dan tinggi pohon ($D^2 \cdot H$). Pendekatan tidak langsung dengan menggunakan BEF (*Biomass Expansion Factor*) yaitu penghitungan volume pohon dan kepadatan kayunya (*wood density*) dan untuk mendapatkan total biomassa dalam satu pohon utuh perlu dikalikan dengan angka BEF (*Biomass Expansion Factor*) (Brown *et al.*, 1984).

Biomassa beberapa tegakan hutan telah diestimasi dengan menggunakan model regresi linear: $Y = a + bx$ yang disebut *Power Function*. Penggunaan *Power Function* ini disebabkan pertumbuhan suatu pohon tidak selalu linier dan tidak selalu eksponensial. Pada awal pertumbuhan, suatu tumbuhan akan mengalami fase logaritmik dalam waktu yang cukup singkat. Pada fase logaritmik, tumbuhan tumbuh sangat cepat, kemudian ia akan memasuki fase linier sehingga pertumbuhannya terlihat agak konstan. Setelah fase linier, maka ia akan memasuki fase stationer. Pada fase stationer ini, tidak terlihat penambahan biomassa secara signifikan pada tumbuhan hingga akhirnya mengalami kematian (Dharmawan *et al.*, 2013). Menurut Mbaekwe dan Mackenzie (2008), model allometrik dinyatakan lebih efisien dan telah banyak digunakan dalam studi biomassa. Persamaan allometrik yang menghubungkan diameter setinggi dada (dbh) atau variabel-variabel lain yang mudah diukur untuk pengukuran volume kayu berdiri atau karbon total biomassa dan cadangan nutrisi umum digunakan dalam inventarisasi hutan dan studi-studi ekologi (Ora, 2018).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

PT. Arara Abadi memiliki kawasan lindung seluas 36.820 ha yang terbagi dalam beberapa fungsi salah satunya yaitu Arboretum. Penelitian ini dilakukan di areal kawasan Lindung Arboretum PT. Arara Abadi Distrik Minas – Rasau Kuning dengan luas ± 170 ha. Secara administratif Arboretum PT. Arara Abadi berlokasi di Desa Mandi Angin, Kecamatan Minas, Kabupaten Siak, Provinsi Riau. Waktu pengambilan data ini dilakukan pada bulan Februari 2024 – Maret 2024. Peta lokasi pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian Arboretum PT. Arara Abadi

Langkah pertama sebelum melakukan 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 20% 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 0,85 sehingga nilai t = 1,96)

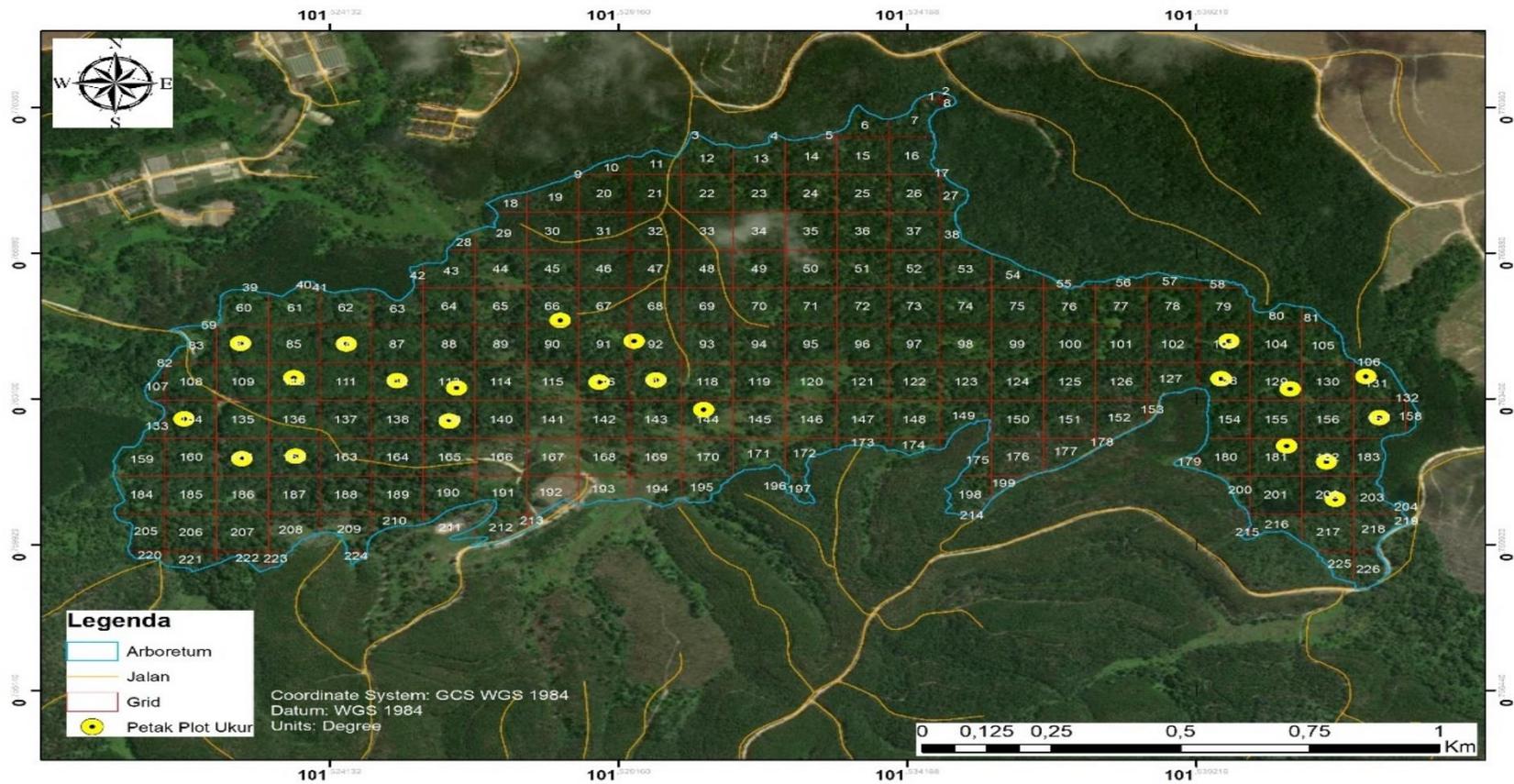
d = Taraf kekeliruan (digunakan 0,20)

p = Proporsi dari karakteristik tertentu (golongan)

q = 1 – p

1 = Bilangan Konstan

Areal pada penelitian ini memiliki ukuran populasi 170 ha dengan taraf kekeliruan (*margin error*) yang digunakan sebesar 20% sehingga diperoleh minimal sampel sebanyak 22 titik. Hal ini memiliki arti bahwa 22 titik sampel dapat menduga/mengestimasi jumlah simpanan karbon yang terkandung dalam 170 ha total areal dengan taraf kekeliruan (*margin error*) sebesar 20%. Jumlah sampel yang ada kemudian disebar secara randomisasi melalui metode fishnet/pembuatan grid (garis khayal vertikal dan horizontal) berukuran 100 m x 100 m menggunakan software ArcGIS. Setiap kotak grid hanya berisikan 1 titik sampel berukuran 20 m x 50 m (pohon dewasa) dan 2 sub plot di dalamnya dengan ukuran 10 m x 10 m (tiang) dan 5 m x 5 m (pancang). Sebaran/distribusi titik sampel dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Lokasi Sebaran Petak Plot Pada Arboretum PT. Arara Abadi

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu alat tulis, pita ukur, roll meter, tali rafia, laptop, *software* ArcGIS, aplikasi avenza, *Global Positioning System* (GPS), kamera dan *Tallysheet*. Objek kajian adalah tegakan pada strata pohon, tiang dan pancang.

3.3. Jenis dan Teknik Pengambilan Data

Jenis dan teknik pengambilan data yang digunakan pada penelitian ini meliputi studi literatur, survey lapang, pengambilan data pada kawasan lindung Arboretum PT. Arara Abadi Distrik Minas – Rasau Kuning, Riau. Metode penelitian yang dilakukan merupakan metode non-destruktif/tanpa pemanenan berupa pengumpulan data dan pengolahan data biomassa di atas permukaan tanah. Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini yaitu data primer dan data sekunder.

3.3.1. Data Primer

Menurut Arikunto (2013), data primer merupakan data dalam bentuk verbal atau kata-kata yang diucapkan secara lisan, gerak gerik atau perilaku yang dilakukan oleh subjek yang dapat dipercaya, dalam hal ini adalah subjek penelitian (informan) yang berkenaan dengan variabel yang diteliti. Data primer pada penelitian ini adalah data yang diperoleh secara langsung di lapangan yaitu berupa nama lokal pohon, tinggi dan *Diameter Breast Height* (DBH) tegakan pada strata pohon, tiang dan pancang. Tinggi dan diameter pohon merupakan dimensi pohon yang sangat penting dalam pendugaan potensi pohon dan tegakan.

Diameter merupakan salah satu parameter pohon yang mudah diukur dan mempunyai arti penting dalam pengumpulan data tentang potensi hutan untuk keperluan pengelolaan. Dalam mengukur diameter, yang biasa digunakan adalah diameter setinggi dada, karena pengukurannya paling mudah dan mempunyai kolerasi yang kuat dengan parameter lain yang penting, seperti luas bidang dasar dan volume batang. Pada umumnya diameter setinggi dada diukur pada ketinggian batang 1,3 m dari permukaan tanah (Aldafiana, 2021).

Tinggi adalah jarak terpendek antara suatu titik dengan titik proyeksinya pada bidang horizontal. Pengukuran tinggi pohon dilakukan dengan terlebih dahulu

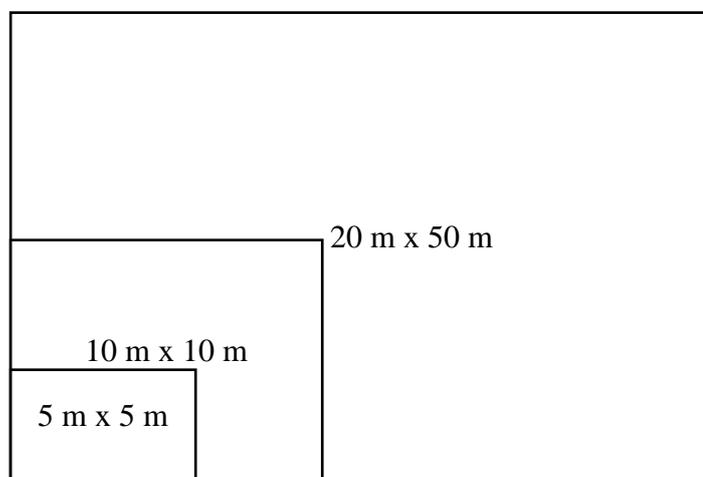
mengukur tinggi pohon menggunakan klinometer pada setiap pohon sampel. Pengukuran tinggi pohon dengan klinometer dilakukan dengan menggunakan alat bantu tongkat kayu. Pengukuran tinggi juga dapat dipakukan menggunakan hagameter yang dilakukan dengan 2 cara, yaitu dengan menggunakan alat bantu meteran dan papan skala (Sari, 2018).

3.3.2. Data Sekunder

Menurut Sugiyono, (2018) dijelaskan bahwa data sekunder adalah sumber data yang tidak langsung memberikan data kepada pengumpul data. Data sekunder pada penelitian ini dapat diperoleh dari studi literatur, individu kunci (*key informan*) dan Perusahaan terkait yang bertujuan sebagai informasi mengenai hal-hal yang berkaitan dengan penelitian ini seperti jenis pohon, jenis tanah, iklim (suhu, kelembaban, curah hujan). Oleh karena itu, data sekunder perlu diperoleh sebagai data pendukung dalam penelitian ini dengan cara mencari literatur dari buku, jurnal dan publikasi lainnya mengenai potensi biomassa dan serapan karbon.

3.3.3. Plot Pengukuran

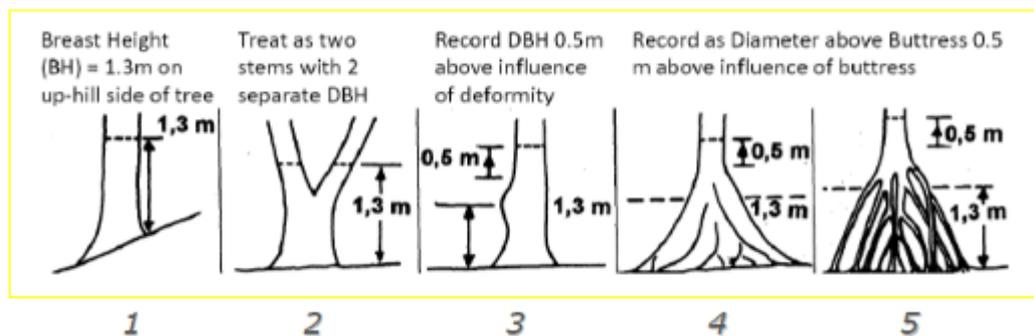
Plot pengukuran dibuat di 22 titik yang sudah ditentukan sebelumnya dengan menggunakan rumus Cochran. Plot ditempatkan secara acak pada setiap *grid* berukuran 100 m x 100 m dan setiap *grid* memuat 1 titik/plot. Pembuatan plot ditentukan dengan merekam koordinat pada daerah yang akan dijadikan titik pusat plot. Desain plot pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4. Desain Plot

Pengambilan data dilakukan pada 22 titik sampel yang telah disebar. Pada setiap titik dibuat plot yang berukuran 20 m x 50 m, 10 m x 10 m dan 5 m x 5 m. Plot 20 m x 50 m untuk mengukur *Diameter Breast Height* (DBH) vegetasi pada strata pohon (>20cm), 10 m x 10 m pada strata tiang (10 cm - 20 cm) dan 5 m x 5 m pada strata pancang (5 cm – 10 cm). Data yang diperoleh meliputi pengukuran tinggi dan *Diameter Breast Height* (DBH) serta nama lokal setiap tegakan yang diukur.. Identifikasi jenis pohon dilakukan dengan membawa karyawan harian pengenalan pohon. Cara mengidentifikasi jenis pohon dilakukan dengan mengamati karakteristik banir, kulit, daun, bau dan getah.

Pengukuran *Diameter Breast Height* (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.



Gambar 5. Prosedur Pengukuran *Diameter Breast Height* (DBH) Pada Batang

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 sisi bentuk pohon.
3. Diameter batang diukur pada 0,5 m di atas titik dimana benjolan berakhir.
4. Diameter batang diukur pada 0,5 m dimana banir berakhir (poin 4 dan 5).

Nama pohon yang telah teridentifikasi ditulis berdasarkan nama komersial dan lokal. Pengambilan dokumentasi dilakukan dengan pengambilan foto pada titik koordinat, foto plot dan foto tajuk atas vegetasi. Seluruh data yang diperoleh ditulis kedalam *tallysheet* yang memuat Nama Pengukur, Tanggal pengambilan data, Nomor Plot, Lokasi Plot (GPS) dan ukuran plot. Hasil pengukuran tinggi dan diameter pohon yang didapatkan pada penelitian akan di rekapitulasi dalam *tallysheet* seperti pada Tabel 1 berikut.

Nama Pengukur :
 Tanggal/bulan/tahun :
 Nomor Plot ;
 Lokasi Plot (GPS) :
 Ukuran Plot :

Tabel 1. *Tallysheet* Pengukuran Tinggi dan Diameter Vegetasi

No.	Nama Pohon	Bercabang/tidak	Keliling (cm)	Diameter (cm)	Tinggi (m)
1					
2					
3					
4					
5					
6					

3.4. Penghitungan dan Analisis Data

Penelitian ini merupakan gabungan dari penelitian kualitatif dan kuantitatif. Analisis data kualitatif merupakan analisis data berupa studi literatur sebagai sumber acuan atau data pendukung dalam penelitian. Analisis data kuantitatif merupakan data yang diperoleh berdasarkan hasil yang didapatkan dilapangan. Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini dikerjakan dengan tahapan-tahapan dalam menganalisis data karbon yaitu sebagai berikut.

- Melakukan penginputan data dari *tallysheet* ke dalam *Ms. Excel*.
- Mengelompokkan data berdasarkan kelas diameter, plot ID dan spesies
- Menghitung biomassa terkandung setiap individu jenis.
- Mengkonversi data biomassa total dari masing-masing jenis pohon
- Menghitung karbon yang terkandung

f. Melakukan analisis statistik untuk menentukan besar *sampling error* dan mencari interval nilai estimasi simpanan karbon.

Penghitungan yang dipakai dalam penelitian ini dilakukan guna menemukan nilai dari data yang telah dikumpulkan dan dijelaskan sebagai berikut.

3.4.1. Analisis Vegetasi

Analisis vegetasi adalah suatu cara mempelajari susunan dan komposisi vegetasi secara bentuk (struktur) vegetasi dari masyarakat tumbuh-tumbuhan (Sari *et al.*, 2018). Vegetasi bukan hanya asosiasi dari individu tumbuhan akan tetapi merupakan satu kesatuan dimana individu-individu penyusunnya saling tergantung satu sama lain yang di kenal sebagai suatu komunitas tumbuhan (Febriliani *et al.*, 2013). Analisis vegetasi dapat diperoleh informasi kuantitatif tentang struktur dan komposisi suatu komunitas tumbuhan. Data vegetasi yang diperoleh digunakan untuk mendapatkan nilai dari Indeks Keanekaragaman (H'). Tingkat indeks keanekaragaman hayati yang didapatkan akan menunjukkan ada atau tidaknya hubungan terhadap jumlah simpanan karbon pada lokasi penelitian. Keanekaragaman pohon dihitung berdasarkan indeks keanekaragaman Shannon (H'). Ludwig and Reynold (1988) menyebutkan bahwa persamaan dalam perhitungan indeks Shannon adalah sebagai berikut :

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

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

Keterangan:

H : Indeks keanekaragaman Shannon

p_i : Perbandingan jumlah individu spesies i dengan total jumlah individu di komunitas.

3.4.2. Biomassa Atas Permukaan

Data pada biomassa pohon/tegakan dilakukan dengan tidak menebang pohon yang berada dalam plot (*non destructive*). Perhitungan biomassa pada penelitian ini menggunakan pendekatan alometrik yang diadopsi dari persamaan Manuri

(2016) yang dimana di Indonesia persamaan ini digunakan untuk hutan alam tropis khususnya yang didominasi oleh jenis *Dipterocarpaceae*, yaitu sebagai berikut.

$$AGB = 0,125 \times D^{2,533}$$

Keterangan:

B=biomasa di atas tanah (kg/individu);

D=diameter setinggi dada (m);

3.4.3. Cadangan Karbon

Analisis estimasi nilai karbon pohon menggunakan pendekatan kandungan biomassa yang dikembangkan oleh BSN (2011), formulasi umum yang digunakan adalah:

$$C = B \times 0,47$$

Keterangan:

C : Cadangan Karbon (Tc)

B : Biomassa (kg)

0,47 : Faktor konversi standar internasional untuk estimasi karbon

Nilai total estimasi simpanan karbon didapatkan dengan menggunakan rumus BSN (2011) :

$$C_{total} = \frac{\sum C_{plot}}{n_{plot}} \times \text{luas area}$$

Keterangan :

$\sum C_{plot}$: Jumlah total karbon pada seluruh petak plot;

n plot: Jumlah petak plot

3.4.4. Analisis Statistik

Analisis statistik dilakukan guna mengetahui Interval dari nilai estimasi simpanan karbon dan *sampling error* pada penelitian yang menggunakan metode sampling. Statistik deskriptif merupakan statistik yang digunakan dalam menganalisis data dengan cara mendeskripsikannya atau menggambarkan data yang terkumpul untuk dibuat kesimpulan yang berlaku untuk umum atau general

(Sugiyono,2009). 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 data pada plot sampel

Forest Cover type	Mean/Mj	Standard Deviation/SD	Statistical Analysis					
			Sample (n)	t-stat at 95% (t)	Confidence Interval	Lower Bound	Upper Bound	Sampling Error (%)
			3	4,30				
			5	2,78				
			8	2,37				
Forest type-j	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_i$	$\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (M_i - M_j)^2}$	10	2,26	$\frac{SD \times t}{\sqrt{n}}$	$M_j - CI$	$M_j + CI$	$\frac{CI}{M_j} \times 100$
			50	2,01				
			100	1,98				
			∞	1,96				

Keterangan : Mi=jumlah stok karbon (dalam tC/ha) dari klaster-i dalam jenis tutupan hutan-j;

n=jumlah klasterdalam jenis tutupan hutan-j

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Hasil Perhitungan indeks keanekaragaman (H') di lokasi plot penelitian PT. Arara Abadi diperoleh nilai sebesar 2,18 (kategori sedang). Pola sebaran diameter yang mendominasi di Arboretum PT. Arara Abadi terdapat pada kelas diameter 20 cm -30 cm dengan jumlah individu sebanyak 409 individu. *Diameter Breast Height* (DBH) pohon terbesar terdapat pada jenis Medang (*litsea grandis*) sebesar 85,99 cm dan untuk *Diameter Breast Height* (DBH) terkecil terdapat pada jenis Medang Kelumpang, Meranti (*Shorea sp*), Medang (*Litsea grandis*), Kruing (*Dipterocarpus indicus*), dan Kelat (*Eugenia sp*) dengan masing-masing sebesar 5,10 cm. Karakteristik tegakan di Arboretum PT. Arara Abadi menunjukkan bahwa proses regenerasi alami berjalan dengan baik. Stok karbon terkandung tertinggi terdapat pada kelas diameter menengah (0 cm-50 cm) yang kemudian menurun pada kelas diameter besar. Nilai kerapatan bidang dasar (*Basal Area*) sebesar 191,74 m²/ha dengan rata-rata sebesar 21,30 m²/ha. Nilai kerapatan bidang dasar (*Basal Area*) terbesar berada di kelas diameter 10-20 dengan nilai sebesar 59,95 m²/ha atau 31,3% dari nilai total keseluruhan. Famili *Dipterocarpaceae* menyumbangkan nilai kerapatan bidang dasar (*Basal Area*) sebesar 183,74 m²/ha atau 96% dari total keseluruhan. Stratifikasi tajuk pada Arboretum PT. Arara Abadi didominasi oleh stratum A (>30 m) sebanyak 347 individu dengan 19 famili kemudian diikuti oleh stratum B (20-30 m) sebanyak 325 individu dengan 20 famili dan stratum C (4-20 m) sebanyak 239 individu dengan 19 jenis famili. Stratum A didominasi oleh jenis *Fagaceae*, *Dipterocarpaceae* dan *Lauraceae*. Stratum B didominasi oleh jenis

Dipterocarpaceae, *Myrtaceae* dan *Lauraceae*. Stratum C didominasi oleh jenis *Lauraceae*, *Dipterocarpaceae* dan *Myrtaceae*.

2. Kawasan Arboretum PT. Arara Abadi memiliki ketersediaan biomassa diatas tanah (*Above Ground Biomass*) dengan rerata sebesar 525,23 Kg/ind yang kemudian dikali bilangan 0,47 (Faktor konversi standar internasional untuk estimasi karbon) sehingga menjadi 0,24 tC/ind.
3. Kawasan Arboretum PT. Arara Abadi memiliki estimasi simpanan karbon dengan rerata sebesar 159,31 tC/ha dengan interval nilai berkisar antara 142,63 tC/ha sampai 176,00 tC/ha serta memiliki *sampling error* sebesar 10,47%.

5.2. Saran

Perlu dilakukannya penelitian lanjutan terkait penghitungan estimasi simpanan karbon dengan menggunakan metode yang berbeda dengan *sampling error* yang lebih kecil agar dapat menghasilkan nilai simpanan karbon yang lebih akurat. Perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut di Arboretum PT. Arara Abadi dengan jumlah plot lebih banyak agar keanekaragaman tumbuhan yang diperoleh lebih beragam lagi, selain itu diteliti juga mengenai serasah yang terdapat di lantai hutan, pengukuran tajuk secara komprehensif sesuai dengan titik koordinatnya agar lebih tergal lagi potensi yang dimiliki. Pemantauan dan penelitian terhadap satwa liar di Arboretum ini juga perlu dilakukan secara lanjut guna mengetahui keanekaragaman satwa yang ada sehingga dapat melakukan konservasi terhadap satwa agar keberadaannya dapat dipertahankan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adinugroho CW & SidiyasaKade. 2001. Model Pendugaan Biomassa Pohon Mahoni (*Swietenia macrophylla* King) di atas Permukaan Tanah. *Jurnal penelitian Hutan dan Konservasi alam* Vol III No.1 hal: 103 –117.
- Adiputra, A., & Barus, B. (2018). Analisis Risiko Bencana Kebakaran Hutan Dan Lahan Di Pulau Bengkalis. *Jurnal Geografi Edukasi Dan Lingkungan (JGEL)*, 1(2), 55–62.
- Afriyanti, D., Kartikawati, R. A. 2018. Peran hutan dalam mitigasi perubahan iklim: Kajian potensi serapan karbon pada jenis-jenis tanaman di kawasan hutan Rawa Danau, Kabupaten Musi Banyuasin, Sumatera Selatan. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*. 15(1): 41-50.
- Akhmaddhian, S. (2016). Penegakan Hukum Lingkungan dan Pengaruhnya Terhadap Pertumbuhan Ekonomi di Indonesia (Studi Kebakaran Hutan Tahun 2015). *UNIFIKASI: Jurnal Ilmu Hukum*, 3(1).
- Aldafiana, S., Murniyati, A. 2021. Pertumbuhan tinggi dan diameter serta volume tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria*) umur 10 tahun di Desa Perdana, Kecamatan Kembang Janggut, Kutai Kartanegara. *Jurnal Eboni*. 3(2): 74.
- Alvanolis, I. P., Gun. M., Fransina. L. 2019. Estimasi Kandungan Karbon Tersimpan Skala Plot Pada Agroforestry Pola Dusung di Negeri Hutumuri, Kecamatan Leitimur Selatan, Kota Ambon. *Jurnal Hutan Tropis*. 7(2).
- Apriyanti, Ratna. 2012. Pengaruh Budaya Organisasi Terhadap Kinerja Karyawan Bagian Pulp Making Pada PT. Indah Kiat Pulp & Paper Tbk Perawang
- Ariana. (2017). 3 Cara untuk Mengatasi Deforestasi Hutan Tropis Hingga 2020.
- Ariani, N. D., Swasta, I. J., & Adnyana, P. B. (2019). Studi Tentang Keanekaragaman dan Kemelimpahan Mollusca Bentik serta Faktor-Faktor Ekologis yang Mempengaruhinya di Pantai Mengening, Kabupaten Badung, Bali. *Jurnal Pendidikan Biologi Undiksha*, 6(3), 146-157.

- Arbi, C. Y. 2012. “Komunitas Moluska di Padang Lamun Pantai Wori, Sulawesi Utara”. *Jurnal Bumi Lestari*, Vol.12, No 1, ISSN: 55–65.
- Arief, Abd. Rahman. 2005. *Pengantar Ilmu Perhotelan dan Restoran*. Graha ilmu, Yogyakarta
- Arikunto, S. 2013. *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktik*. Rineka Cipta. Jakarta.
- Asmoro, JPP. 2011. Potensi Karbon Jenis Endemik Papua: *Pometia Pinnata* J. R. Forst., G. Forst. *Jurnal Penelitian Sosial Dan Ekonomi Kehutanan*. 8(4).
- Australian Greenhouse Office. 1999. National Carbon Accounting System, Methods for Estimating Woody Biomass. Technical Report No. 3, Commonwealth of Australia.
- Bala, G. 2014. Can planting new trees help to reduce global warming? *Curent Science* 106(12): 1623-1624.
- Bismark M, NM Heriyanto dan S Iskandar. 2008a. Biomasa dan kandungan karbon pada hutan produksi di cagar biosfer Pulau Siberut, Sumatera Barat. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam* 5 (5), 397-407
- 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
- Budianto, P. T. H., Wirosodarmo, R., & Suharto, B. (2014). Perbedaan laju infiltrasi pada lahan hutan tanaman industri pinus, jati dan mahoni. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 1(2), 15-24.
- Brown S, Gillespie AJR & Lugo AE. 1984. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *For. Sci.*35(4): 881-902
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of Tropical Forest: a Primer. Rome, Italy: FAO Forestry Paper. 134.
- Chairul, Erizal Muchktar, Mansyurdin, Tesri M, Gusmardi Indra. 2016. Struktur Kerapatan Vegetasi Dan Estimasi Kandungan Karbon Pada Beberapa Kondisi Hutan Di Pulau Siberut Sumatera Barat. *Jurnal Metamorfosa*. 3(1): 15-22.

- Chanan, M. 2012. Pendugaan cadangan karbon (C) tersimpan di atas permukaan tanah pada vegetasi hutan tanaman jati (*Tectona grandis linn. F*) di RPH Sengguruh BKPH Sengguruh KPH Malang Perum Perhutani II Jawa Timur. *Jurnal Gamma*. 7 (2): 61-73.
- Cordero, L.D.P., Mackenzie. 2003. Above ground biomass of *tectona grandis* plantations in costa rica. *Journal of Tropical Forest Science*. 15(1): 199-213.
- Dharmawan, I. W. S., Saharjo, B. H., Supriyanto, S., & Arifin, H. S. (2013). Persamaan alometrik dan cadangan karbon vegetasi pada hutan gambut primer dan bekas terbakar. *Jurnal penelitian hutan dan konservasi alam*, 10(2), 175-191.
- Diaz-Pulido, G., L. McCook. 2008. Macroalgae (Seaweeds). Pages 1-44 in: A.Chin, editor. *The State of the Great Barrier Reef On-line*. Great Barrier Reef Marine Park Authority, Townsville.
- Dupuy, J. M., Jose L. H. S., Rodrigo A. H. J., Erika T. R., Jorge O. L. M., Euridice L. A., Fernande J. T. D. & Filogonio M. P. (2012). Patterns and correlates of tropical dry forest structure and composition in a highly replicated chronosequence in Yucatan, Mexico. *Biotropica*, 44(2), 151-162.
- Eni Rosmawati. 2012. Pengaruh Pemberian Kompensasi Finansial dan Non Finansial Terhadap Produktivitas Kerja Karyawan Pada Bagian Pulp Making 9 Pada PT. Indah Kiat Pulp and Paper Tbk Perawang.
- FAO. 2016. *Global Forest Resources Assessment 2015: How are the world's forests changing?* Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fajri, M., Nugroho, I. A., & Utomo, T. T. H. A. (2023). STANDAR LHK, PENUNJANG TARGET PENCAPAIN FOLU NET SINK 2030. *STANDAR: Better Standard Better Living*, 2(3), 14-18.
- Fardiaz, S.1995. *Siklus Karbon Dalam Hutan*. Lembaga Sumberdaya Informasi. Institut Pertanian Bogor.Bogor.
- Febriliani, F., Ningsih, S., & Muslimin, M. (2013). Analisis vegetasi habitat anggrek di sekitar danau tambing kawasan taman nasional lore lindu. *Jurnal Warta Rimba*, 1(1).
- Fitra, R., A. 2022. Kondisi ekosistem mangrove di Kecamatan Wundulako Kabupaten Kolaka. *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*. 13(2): 19
- Ghozali, I. (2016) *Aplikasi Analisis Multivariate Dengan Program IBM SPSS 23*. Edisi 8. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Ginoga. 2004. *Model Penduga Biomassa dan Karbon Tegakan Hutan Kerangas di Taman Nasional Danau Sentarum, Kalimantan Barat* [tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

- Gunawan, W. dkk., 2011. Analisis Struktur dan Komposisi Vegetasi Terhadap Upaya Restorasi Kawasan Hutan Taman Nasional Gunung Gede Pangrango. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 1(2), hal.93–105.
- Hair, Jr., Joseph F., et. al. (2011). *Multivariate Data Analysis*. Fifth Edition. New Jersey: PrenticeHall, Inc.
- Hairiah, K. dan Rahayu S. 2007. *Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Penggunaan Lahan*. Buku. World Agroforestry Center-ICRAF. Bogor. 110 hlm.
- Hardiansyah, G. 2012. Studi Potensi Biomassa dan Karbon pada Hutan Tanaman Industri *Eucalyptus pellita* PT. Finnantara Intiga Kalimantan Barat. *Jurnal Wana Tropika*. 12(1): 73.
- Harris, J., M. Feriz. 2011. *Forest, Agriculture, and Climate: Economics and Policy Issues*. Global Development and Environment Institute, Tufts University, Medford.
- Herlangga, R., & Nurjanah, N. 2017. *Analisis Pelaksanaan Program Community Development Sebagai Bentuk Tanggungjawab Sosial PT Arara Abadi Distrik Sorek Dalam Meningkatkan Kesejahteraan Masyarakat* (Doctoral dissertation, Riau University).
- Heiskanen, 2006. Biomass Ecv Report.
- Heryanto. M. N, & Subiandono, E. 2012. Komposisi dan Struktur Tegakan Biomasa dan Potensi Kandungan Karbon Hutan Mangrove di Taman Nasional Alas Purwo. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Konservasi dan Rehabilitasi 9 (1): 23-32.
- Indriyanto. (2012). *Ekologi Hutan*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Irawan, A. 2017. Potensi cadangan dan serapan karbon oleh Padang Lamun di bagian Utara dan Timur Pulau Bintan. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*. 2(3): 36.
- Irianto RS et al. 2006. *Incidence and Spatial Analysis of Root Rot of Acacia mangium in Indonesia*. *Journal of Tropical Forest Science* 18 (3) : 157 – 165.
- Isti Prabandari, A. (2020). *Pengertian Pemanasan Global dan Dampaknya, Timbulkan Berbagai Gangguan Cuaca Ekstrem*
- Jones. 1979. *Topics in applied geography vegetation productivity*. Longman London and New York.

- Jordan, Dio. 2022. *Implementasi Program Community Development PT. Arara Abadi Distrik Rasau Kuning Kabupaten SIAK*. Skripsi. Fakultas Ilmu Komunikasi, Program Studi Ilmu Komunikasi, Universitas Islam Riau. Pekanbaru.
- 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.
- Lembi, C. 2014. *The Biology and Management of Algae*. Pages 97-104 in: L. Gettys, W. Haller, and D. Petty, editors. *Biology and Control of Aquatic Plants: A Best Management Practices Handbook*, 3rd edition. Aquatic Ecosystem Restoration Foundation, Marietta.
- Ludwig, J.A. and J.F. Reynold. 1988. *Statistical ecology: a primer of methods and computing*. Wiley Press, New York.
- Madsen, J. 2014. *Impact of Invasive Aquatic Plants on Aquatic Biology*. Pages 1-8 in: L. Gettys, W. Haller and D. Petty, editors. *Biology and Control of Aquatic Plants: A Best Management Practices Handbook*, 3rd edition. Aquatic Ecosystem Restoration Foundation, Marietta.
- Ma'mur, R. (2011). *Studi perencanaan pengembangan ekowisata di Arboretum PT. Arara Abadi Provinsi Riau*.
- Manuri, Solichin & Brack, Cris & noor'an, Rahimahyuni & Rusolono, Teddy & Anggraini, Shema & Dotzauer, Helmut & Kumara, Indra. (2016). Improved allometric equations for tree aboveground biomass estimation in tropical dipterocarp forests of Kalimantan, Indonesia. *Forest Ecosystems*. 3. 10.1186/s40663-016-0087-2.
- Marjan., Wardah., Abdul. H. 2016. *Biomassa Dan Karbon Pohon Di Sekitar Danau Tambing Pada Kawasan Taman Nasional Lore Lindu Desa Sedoa Kecamatan Lore Utara Kabupaten Poso*. *Jurnal Warta Rimba*. 4(1).
- Martin JG, Kloepfel BD, Schaefer TL, Kimbler DL & McNutly SG, 1998. Aboveground Biomass and nitrogen allocation of ten deciduous Southern Appalachian tree species. *J. For. Res.* 28:
- Mason, C.F. and S.M. McDonald. 1986. *Otters: ecology and conservation*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Mbaekwe, E.I., Mackenzie, J.A. 2008. The Use of a Best-fit Allometric Model to Estimate Aboveground Biomass Accumulation and Distribution in an Age Series of Teak (*Tectona grandis* L.f.) Plantations at Gambari Forest Reserve, Oyo State, Nigeria. *Tropical Ecology*. 49(2): 259-270.

- Muhdin, E., Suhendang, D., Wahjono, H., Purnomo, I., & Simangunsong, B. C. H. (2008). Keragaman struktur tegakan hutan alam sekunder. *J. Man. Hut. Trop*, 16(2), 81-87.
- Novalia, T. (2017). Neraca Lahan Indonesia: Penyusunan Neraca Lahan Indonesia untuk Mendukung Implementasi Sustainable Development Goals, 245–254.
- Onrizal, O., & KUSMANA, C. (2008). Ecological study on mangrove forest in East Coast of North Sumatra. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 9(1).
- Ora, Yudhistira., Adrin. 2018. Model allometrik biomassa di atas permukaan tanah pada sistem agroforestri mamar di Desa Oebola Dalam. *Partner*. 23(2): 710-711.
- Paembonan, S.A. 2020. *Silvika Ekofisiologi dan Pertumbuhan Pohon*. Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Pambudhi, F. 1994. Dinamika Struktur Hutan Bekas Tebangan di Bukit Soeharto dan Usaha Peningkatan Vol. VI No. 1 : 79-93, 2009 90 Kualitasnya dengan Penjarangan. Laporan Penelitian. Pusat Penelitian Universitas Mulawarman, Samarinda
- Parresol BR. 1999. Assessing tree and stand biomass: A review with examples and critical comparisons. *For. Sci.* 45(4): 573-593.
- Pratama, R., Parinduri, L. 2019. Penanggulangan pemanasan global. *Buletin Utama Teknik*. 15(1): 91.
- Purwaningsih S. 2007. Kemampuan Serapan Karbondioksida Pada Tanaman Hutan Kota di Kebun Raya Bogor. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Purwanto, R. H., Rohman, R., Maryudi, A., Yuwono, T., Permadi, D. B., & Sanjaya, M. (2012). Potensi biomasa dan simpanan karbon jenis-jenis tanaman berkayu di hutan rakyat Desa Nglanggeran, Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 6(2), 128-141.
- Rachmatika, I., & Samsedin, I. (2006). Recognizing local people's priorities for tropical forest biodiversity. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 35(1), 17-24.
- Ramdhani, H. S. (2011). Studi sosial ekonomi dan persepsi masyarakat terhadap Corporate Social Responsibility (CSR) perusahaan hutan tanaman industri PT. Nityasa Idola di Kalimantan Barat.
- Ringkasan Publik PT. Arara Abadi. 2018.

- Risnandar C. 2015. Ensiklopedi Geografi Indonesia Retrieved Februari 29, 2016, www.jurnalbumi.com: <https://jurnalbumi.com/hutan-kota/> (diunduh 20 Juni 2023).
- Rusdiana, O. dan Lubis, R. S. 2012. Pendugaan korelasi antara karakteristik tanah terhadap cadangan karbon (carbon stock) pada hutan skunder. *Jurnal Silvikultur Tropika*. 3(1): 14-21.
- Safitri. L. N., Intan Kemala., Aslati. (2019). Manajemen Krisis Public Relations PT. Indah Kiat Pulp and Paper TBK (IKPP) Perawang Terhadap Berkembangnya Isu Pencemaran Lingkungan. *Jurnal Riset Mahasiswa Dakwah dan Komunikasi*. 1(1): 29-36.
- Salsabillah. 2019. *Estimasi Nilai Serapan Karbon Tegakan Hutan Mangrove di Desa Binanga Kecamatan Sendana Kabupaten Majene*. Skripsi. Fakultas Pertanian, Program Studi Kehutanan, Universitas Muhammadiyah Makassar. Makassar.
- Salisbury FB. and C.W. Ross, 1995. Fisiologi Tumbuhan. Bandung: Penerbit ITB
- Sardi, W. D., Kainde, R. P., & Nurmawan, W. (2022). Cadangan Karbon pada Pohon di Taman Hutan Raya Gunung Tumpa HV Worang. In *Cocos* (Vol. 14, No. 3).
- Sari, D.R., Ariyanto. 2018. Analisis waktu kerja pengukuran tinggi pohon menggunakan klinometer dan hagameter. *Jurnal Hutan Tropis*. 2(2): 80
- Sari, D. N., Wijaya, F., Mardana, M. A., & Hidayat, M. (2019, January). Analisis vegetasi tumbuhan dengan metode Transek (line transect) dikawasan Hutan deudap pulo aceh Kabupaten aceh besar. In *Prosiding Seminar Nasional Biologi, Teknologi dan Kependidikan* (Vol. 6, No. 1).
- Setiawan., Andi Arif. 2022. Potensi Limbah Biomassa Sebagai Bioadsorben Dalam Menanggulangi Pencemaran Logam Berat. *Environmental Science Journal (esjo): Jurnal Ilmu Lingkungan*. : 29-38.
- 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.
- Siregar, Chairil Anwar. 2012. Formulasi persamaan allometrik untuk pendugaan biomassa karbon Jati (*Tectona grandis Linn. F*) di Jawa Barat. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan*. 9(3): 161.
- Sofiyuddin. 2007. *Potensi Tegakan Hutan Rakyat Jati dan Mahoni yang Tersertifikasi Untuk Perdagangan Karbon, Studi Kasus Di Desa Selopuro, Kecamatan Baturetno, Kabupaten Wonogiri*. Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 93 hlm.

- Sugesty, S., Kardiansyah, T., & Pratiwi, W. (2015). Potensi *Acacia crassicarpa* sebagai bahan baku pulp kertas untuk hutan tanaman industri. *Jurnal Selulosa*, 5(01).
- Sugirahayu, L. dan Rusdiana, O. 2011. Perbandingan simpanan karbon pada beberapa tutupan lahan di kabupaten paser, kalimantan timur berdasarkan sifat fisik dan kimia tanahnya. *Jurnal Silvikultur Tropika*. 2(3): 149-155.
- Sugiyono, A. 2006. Penanggulangan pemanasan global di sektor pengguna energi. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*. 7(2): 15.
- Sugiyono. 2018. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. PT Alfabet. Bandung
- Suhartati, Rahmayanto, Y., Daeng, Y. 2014. Dampak Penurunan Daur Tanaman HTI *Acacia* Terhadap Kelestarian Produksi, Ekologis dan Sosial. *Info Teknis Eboni*. 11(2). 103-116
- Suhartati *et al.*, 2013. Kajian Dampak Penurunan Daur Tanaman *Accacia crassicarpa* A.Cunn Terhadap Nilai Produksi dan Sosial. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*. Vol. 10 No. 2: 109-118
- Sidiyasa, K. 2009. Struktur dan Komposisi Tegakan Serta Keanekaragamannya di Hutan Lindung Sungai Wain, Balikpapan, Kalimantan Timur. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam* Vol IV hal. 79 – 90. Bogor
- Sujarwo, W., & Darma, I. D. P. (2011). Analisis vegetasi dan pendugaan karbon tersimpan pada pohon di kawasan sekitar gunung dan danau Batur Kintamani Bali. *Jurnal Bumi Lestari*, 11(1), 85-92.
- Sukarna, R. M., Hidayat, N., & Tambunan, M. S. (2022). Kondisi hutan tropis lahan kering berdasarkan struktur dan komposisi jenis tegakan (Studi kasus pada PT. Sindo Lumber Provinsi Kalimantan Tengah, Indonesia). *Journal of Environment and Management*, 3(1), 80-88.
- Sukmawati, T., Fitrihidajati, H., & Indah, N. K. 2015. Penyerapan karbon dioksida pada tanaman hutan kota di Surabaya. *Lentera Bio*, 4(1), 108-111.
- Sunquist, E., R. Burruss, S. Fulkner, R. Gleason, J. Harden, Y. Kharaka, L. Tieszen and M. Weldrop. 2008. Carbon Sequestration to Mitigate Climate Change. United States Geological Survey.
- Supangat, A. B., *et al.* 2013. Status Kesuburan Tanah Di Bawah Tegakan *Eucalyptus PELLITA* F. Muell: Studi Kasus Di HPHTI Pt. Arara Abadi, Riau (Soil fertility under *Eucalyptus pellita* F. Muell stands: Case study in PT. Arara Abadi, Riau). *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 20(1), 22-34.

- Susiana. 2011. Diversitas dan Kerapatan Mangrove Gastropoda dan Bivalvia di Estuari Perancak Bali. (*Skripsi Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan Jurusan Perikanan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin. Makassar*)
- Sutaryo, D. 2009. Penghitungan Biomassa. *Wetlands International Indonesia Programme. Bogor*,.39.
- 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).
- Tamba, P. 2015. Adaptasi Masyarakat dalam Merespon Perubahan Fungsi Hutan (Studi Deskriptif tentang Kehadiran Hutan Tanaman Industri PT. Toba Pulp Lestari di Desa Tapian Nauli III, Kec. Sipahutar, Kab. Tapanuli Utara). *Perspektif Sosiologi*, 3(1), 156833.
- 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.
- Tim Arupa. 2014. *Menghitung Cadangan Karbon di Hutan Rakyat Panduan bagi Para Pendamping Petani Hutan Rakyat*. Buku. Biro Penerbit Arupa. Yogyakarta. 247 hlm..
- Trancoso, A. 2002. Modelling Macroalgae in Estuaries. Trabalho Final de Curso da Licenciatura em Engenharia do Ambiente. Instituto Superior Tecnico, Universidade Tecnica de Lisboa. Lisboa.
- Triana, V. 2008. Pemanasan global. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*. 2(2): 159.
- Vassilev, S. V, Baxter, D., Andersen, L. K., & Vassileva, C. G. 2010. An overview of the chemical composition of biomass. *Fuel*. 89(5): 913–933.
- Wahyuni, I. N., Kafiari, Y., 2017. Komposisi Jenis dan Struktur Hutan Sekunder di Nunuan Bolaang Mongondow Utara. Balai Penelitian dan Pengembangan Lingkungan Hidup. *Jurnal WASIAN*. Manado: Kehutanan Manado 4(1): 27-36.
- Wahyuni, N. I & Mokodompit. 2016. Struktur dan Keragaman Pohon di Hutan Produksi Inoboto Poigor I, KPHP Poigar, Sulawesi Utara. *Jurnal WASIAN*. 3(1): 45-60.
- 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.

- Wirdani, M., Cepriadi., Kausar. 2023. Analisis konflik hutan tanaman industry (Studi Kasus Konflik Masyarakat Desa Kota Garo dengan pt. Arara Abadi di Kecamatan Tapung Hilir Kabupaten Kampar Provinsi Riau). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa AGROINFO GALUH*. 10(1): 279.
- Wulandari, R., Setiawan, Y. 2018. Analisis ketersediaan biomassa dan potensi serapan karbon pada beberapa jenis tanaman di kawasan hutan mangrove Pulau Dua, Kabupaten Batam, Kepulauan Riau. *Jurnal Ilmu Kehutanan*. 12(2): 95-106.
- Yuswandi, Yunus. 2022. *Serapan Karbon di Beberapa Taman Publik dan Jalur Hijau Kecamatan Palabuhanratu, Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat*. Skripsi. Fakultas Sains dan Teknologi, Program Studi Biologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. Malang.