

SKRIPSI

**POTENSI SIMPANAN KARBON PADA TEGAKAN
PINUS (*Pinus merkusii* Jungh. et de Vriese) DENGAN
UMUR BERBEDA DI KECAMATAN MENGKENDEK
KABUPATEN TANA TORAJA**

Disusun dan diajukan oleh

GRACE LANDE' PARERUNG

M011171041



**PROGRAM STUDI KEHUTANAN
FAKULTAS KEHUTANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

LEMBAR PENGESAHAN

Potensi Simpanan Karbon pada Tegakan Pinus (*Pinus merkusii* Jungh. et de Vriese) dengan Umur Berbeda di Kecamatan Mengkendek Kabupaten Tana Toraja.

Disusun dan diajukan oleh

GRACE LANDE' PARERUNG
M011171041

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Kehutanan Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 23 September 2021
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Prof. Dr. Ir. B. Nurkin, M.Sc.
NIDK. 8839830017

Pembimbing Pendamping

Prof. Dr. Ir. Samuel A. Paembonan
NIP. 19550115 198102 1 002

Ketua Program Studi

Dr. Forest. Muhammad Ali K. S., S.Hut, M.Si
NIP. 19790831 200812 1 002



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Grace Lande' Parerung
NIM : M011171041
Program Studi : Kehutanan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

“Potensi Simpanan Karbon Pada Tegakan Pinus (*Pinus merkusii* Jungh. et de Vriese) Dengan Umur Berbeda Di Kecamatan Mengkendek Kabupaten Tana Toraja”

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar - benar merupakan hasil karya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 23 September 2021

Yang Menyatakan



Grace Lande' Parerung

ABSTRAK

Grace Lande' Parerung (M011171041). Potensi Simpanan Karbon Pada Tegakan Pinus (*Pinus merkusii* Jungh. et de Vriese) Dengan Umur Berbeda Di Kecamatan Mengkendek Kabupaten Tana Toraja di bawah bimbingan Bahaeruddin Nurkin dan Samuel A. Paembonan.

Memanfaatkan kemampuan hutan dalam menyerap dan menyimpan karbon melalui proses fotosintesis merupakan salah satu upaya alternatif untuk mengatasi permasalahan pemanasan global. Mempertimbangkan hal tersebut, maka perlu kajian lebih mendalam tentang potensi simpanan karbon pada suatu tegakan dari berbagai spesies penyusun tegakan hutan. Salah satu jenis spesies pohon yang berkontribusi dalam menyerap dan menyimpan karbon serta banyak ditanam di daerah Tana Toraja adalah Pinus (*Pinus merkusii* Jungh. et de Vriese). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi simpanan karbon pada tegakan Pinus dengan umur berbeda di Kecamatan Mengkendek, Kabupaten Tana Toraja. Penentuan plot penelitian ini dilakukan menggunakan metode purposive sampling yaitu berdasarkan umur tegakan dengan ukuran plot 25 x 25 cm dan sub plot 1 x 1 m. Sampel yang diambil adalah tumbuhan bawah, serasah, tanah dan data pohon. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa total simpanan karbon pada tegakan pada umur 10 tahun mencapai 71,06 ton/ha. Kandungan karbon terus meningkat seiring dengan peningkatan umur tegakan. Pada umur 30 tahun kandungan karbon meningkat hampir mencapai lima kali lipat yaitu sebesar 341,13 ton/ha.

Kata Kunci : Pemanasan Global, Simpanan Karbon, Tegakan Pinus.

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur dan kemuliaan hanya bagi Tuhan Yesus Kristus, oleh karena kasih karunia dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “ **Potensi Simpanan Karbon Pada Tegakan Pinus (*Pinus merkusii Jungh et de Vriese*) Dengan Umur Berbeda di Kecamatan Mengkendek Kabupaten Tana Toraja** ” ini dengan baik.

Dalam melaksanakan seluruh kegiatan penelitian ini, penulis telah banyak mengalami hambatan, namun berkat keyakinan, kesabaran, bantuan, bimbingan, dorongan serta doa dari berbagai pihak, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis dengan tulus dan rendah hati mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak **Prof. Dr. Ir. Bahaeruddin Nurkin, M.Sc** selaku pembimbing I dan Bapak **Prof. Dr. Ir. Samuel A. Paembonan** selaku pembimbing II yang dengan sabar telah memberikan waktu, tenaga, dan pikiran dalam mengarahkan dan membantu penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
2. Ibu **Dr. Siti Halimah Larekeng, MP** dan Bapak **Nasri S.Hut., M.Hut** selaku dosen penguji yang telah memberikan bantuan, saran dan koreksi dalam penyusunan skripsi ini.
3. Saudara penulis **Angkatan 2017 (FRAXINUS MMXVII)** yang telah memberi bantuan, semangat dan doa kepada penulis selama masa perkuliahan.
4. Keluarga Besar **PDR-MK Fahutan Unhas** atas doa, dukungan serta kebersamaannya selama ini.
5. Saudara-saudara seperjuangan penulis dari awal perkuliahan **Febrian Thomas Hingkam, Iser Purwanti Ayu, Stefani Ambalinggi, Rindiani, Patta Nani Sallata, Angellia M. Pagewang, Kiki Sulo, Kevin Gerald Malia, Didin Iskandar, Geby Bandaso, Glory A.T Malino, Nehemia Hersal Palondongan, Mery Tirtawana, Pebrianti Madulu, Michely Jaudy, Dwiky Junior, Meisy Tandipayung, Giandre Hepzhy Ruru, Della, Brigitta Audryne, Ega Cynthia Watumlawar, Trisia Praptaningtyas, John Bryan, Dwi Junita, Christiana Wella, Army Ngayo Lintin dan Jessica Zabrina**

terima kasih atas doa, motivasi, bantuan dan kebersamaan yang dengan tulus diberikan kepada penulis.

6. Kakak-kakak **Oktavianus Ere, S.Hut, Reisha Febianti Silas S.Hut** dan adik-adik **Hary Dwi Putra Luden, Septin Rindi, Reza Payung Allo, Wahyu Sutanto, Seprino Mendila, Igawati Alfari, Cheryl Janti Rupa, Junita Eka Putri Upa'** yang telah membantu penulis dalam kegiatan penelitian ini sehingga dapat berjalan dengan baik.
7. Saudara-saudara penulis **Cesaria Marewa, Vikalis Lande', Ingrid Agnes Kambuno, Victoria B. Marewa, Sriyanti Simmin Lande', Ramawati Marewa** dan **Putri Turu Allo** terima kasih atas motivasi, dorongan, bantuan, kebersamaan dan doa untuk penulis.
8. Keluarga besar terkhusus Papi **Dr. Yeheschiel B. Marewa, SH., MH** dan Mami **Ir. Sarlina Parerung** terkasih yang telah memberikan bimbingan, tenaga, dan waktunya mulai dari penulis mendaftar kuliah hingga penulis dapat menyelesaikan masa studi.
9. Semua pihak yang telah turut membantu dan bekerja sama setulusnya dalam pelaksanaan dan penyusunan skripsi ini.

Secara khusus kebahagiaan ini penulis persembahkan kepada orang tua terkasih, Ayahanda **Berthus Parerung, S.Pd.**, dan Ibunda **Adriana Rante Tandung, S.Pd.**, serta saudara-saudara penulis **Gladys Lande' Parerung, Geraldny Lande' Parerung** dan **Gwynella Lande' Parerung** yang selalu memberi semangat, motivasi, kasih sayang, pengorbanan, perhatian dan telah mencurahkan doa yang sangat tulus dan tak terhingga di dalam kehidupan penulis selama ini.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini tidak luput dari kekurangan, namun penulis berharap agar tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca atau mahasiswa yang ingin melakukan penelitian serupa.

Makassar, 23 September 2021

Grace Lande' Parerung

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
I. PENDAHULUAN	1
2.1 Latar Belakang	1
2.2 Tujuan dan Kegunaan	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Pohon Pinus	4
2.1.1 Sistematika Pinus	4
2.1.2 Penyebaran Tempat Tumbuh dan Manfaat	5
2.2 Biomassa	6
2.3 Karbon.....	7
2.3.1 Karbon Dioksida (CO ₂).....	7
2.3.2 Siklus Karbon.....	8
2.3.3 Simpanan dan Serapan Karbon.....	10
2.3.4 Perhitungan Karbon Tersimpan	12
III. METODOLOGI PENELITIAN	14
3.1 Waktu Penelitian	14
3.2 Lokasi Penelitian.....	14
3.2.1. Lembang Marinding Kecamatan Mengkendek.....	15
3.2.2. Kelurahan Tampo Kecamatan Mengkendek.....	15
3.2.3. Lembang Buntu Datu Kecamatan Mengkendek	15
3.2.4. Lembang Pa'tengko Kecamatan Mengkendek	15
3.3 Alat dan Bahan.....	16
3.3.1 Alat.....	16
3.3.2 Bahan	16
3.4 Metode Penelitian yang digunakan	17
3.4.1 Tahap Pengambilan Data	17

3.4. Analisis Data.....	20
3.4.1. Perhitungan Luas Bidang Dasar.....	20
3.4.2. Perhitungan Kerapatan Tegakan	21
3.4.3. Perhitungan Biomassa Pohon	21
3.4.4. Perhitungan Karbon Pohon	21
3.4.5. Perhitungan Serapan CO ₂	22
3.4.6. Perhitungan Biomassa Tumbuhan Bawah dan Serasah	22
3.4.7. Perhitungan Karbon Tumbuhan Bawah dan Serasah.....	23
3.4.8. Perhitungan Kandungan Karbon Organik Tanah.....	23
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	24
4.1 Sebaran Luas Bidang Dasar	24
4.2 Biomassa dan Karbon Pohon	25
4.3 Biomassa dan Karbon Tumbuhan Bawah.....	28
4.4 Biomassa dan Karbon Serasah.....	29
4.5 Karbon Organik Tanah	31
4.6 Simpanan Karbon Total	33
V. KESIMPULAN DAN SARAN	35
4.1. Kesimpulan	35
4.2. Saran	35
DAFTAR PUSTAKA.....	36
LAMPIRAN.....	41

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
Tabel 1.	Sebaran Luas Bidang Dasar	24
Tabel 2.	Nilai Biomassa, Karbon dan Serapan CO ₂ Pohon	26
Tabel 3.	Data Biomassa dan Karbon Tumbuhan Bawah	28
Tabel 4.	Data Biomassa dan Karbon Serasah	30
Tabel 5.	Data Kandungan Karbon Organik Tanah	31
Tabel 6.	Data Simpanan Karbon Total.....	34

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
Gambar 1.	Peta Lokasi Penelitian	14
Gambar 2.	Sketsa Sub-Plot 1 m x 1 m untuk Pengambilan Data Biomassa Tumbuhan Bawah.....	18
Gambar 3.	Sketsa Sub-Plot 1 m x 1 m untuk Pengambilan Data Biomassa Serasah.....	19
Gambar 4.	Diagram Hubungan Umur dengan Karbon Pohon.....	27
Gambar 5.	Diagram Hubungan Umur dengan Karbon Tumbuhan Bawah.....	29
Gambar 6.	Diagram Hubungan Umur dengan Karbon Serasah.....	31
Gambar 7.	Diagram Hubungan Umur dengan Kandungan C Organik Tanah.....	32
Gambar 8.	Diagram Hubungan Umur dengan Karbon Permukaan	33

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Data Pohon	42
Lampiran 2.	Data Perhitungan Luas Bidang Dasar.....	60
Lampiran 3.	Data Perhitungan Biomassa dan Karbon Tumbuhan Bawah	61
Lampiran 4.	Data Perhitungan Biomassa dan Karbon Serasah	66
Lampiran 5.	Data Perhitungan Kandungan Karbon Organik Tanah.....	67
Lampiran 6.	Data Perhitungan Biomassa, Karbon dan CO ₂ Pohon.....	69
Lampiran 7.	Dokumentasi Penelitian.....	71

I. PENDAHULUAN

2.1 Latar Belakang

Pemanasan global adalah salah satu isu lingkungan penting yang saat ini menjadi perhatian berbagai pihak. Akibat pemanasan global, terjadi peningkatan temperatur rata-rata laut dan daratan bumi yang disebabkan oleh kegiatan industri dan semakin berkurangnya penutupan lahan khususnya hutan akibat laju deforestasi yang terjadi akhir-akhir ini. Menurut Departemen Kehutanan (2007) penyebab dari pemanasan global adalah efek gas rumah kaca yaitu energi yang diterima dari sinar matahari yang diserap sebagai radiasi gelombang pendek dan dikembalikan ke angkasa sebagai radiasi infra merah gelombang panjang. Gas-gas rumah kaca menyerap radiasi infra merah dan terperangkap di atmosfer dalam bentuk energi panas. Peristiwa efek rumah kaca terjadi pada saat panas yang masuk ke bumi akan terperangkap di dalamnya dan tidak dapat menembus ke luar sehingga dapat membuat kondisi umum menjadi lebih panas.

Solusi untuk permasalahan pemanasan global adalah mempertahankan keberadaan dan memperluas areal hutan secara global. Kemampuan hutan dalam menyerap dan menyimpan karbon yang ada di atmosfer berperan penting dalam pengendalian karbon yang ada di atmosfer. Hutan dapat menyerap karbon karena vegetasi hutan baik yang berupa pepohonan maupun tumbuhan melakukan fotosintesis. Proses metabolisme fotosintesis tumbuhan mempunyai kemampuan untuk mengkonsumsi karbon dioksida di atmosfer dan mengubahnya menjadi bentuk energi (gugus gula) yang bermanfaat bagi kehidupan. Sebagian besar energi ini disimpan oleh tumbuhan dalam bentuk biomassa. Hutan dengan kemampuannya menyerap karbon dioksida melalui fotosintesis merupakan upaya alternatif mengatasi permasalahan global. Upaya tersebut antara lain dapat dilakukan melalui kegiatan rehabilitasi hutan. Kegiatan tersebut perlu di dukung dengan kegiatan untuk memperoleh data dan informasi mengenai tingkat, status, dan kecenderungan perubahan emisi gas rumah kaca secara berkala dari berbagai sumber emisi dan penyerapannya termasuk simpanan karbon (Widiatmaka, 2013).

Jumlah karbon yang tersimpan dalam pohon berbanding linear dengan kenaikan biomassa pohon yaitu dengan bertambahnya tinggi, diameter serta umur pohon, dan mencapai kondisi stabil ketika umur pohon mencapai masak tebang. Volume serapan karbon berjalan lambat pada tahap semai menjadi sapihan. Sedangkan proses penyerapan karbon secara cepat terjadi pada fase sapihan ke fase tiang dan pohon, karena pohon mengalami peningkatan penambahan volume batang dan tajuk yang sangat cepat (Paembonan, 2012). Polosakan (2014) menyebutkan bahwa salah satu pohon yang berkontribusi dalam menyerap dan menyimpan karbon yaitu pohon pinus.

Pinus (*Pinus merkusii*) merupakan salah satu jenis tanaman kehutanan yang banyak ditanam sebagai tanaman reboisasi dan HTI. Pinus dapat tumbuh di berbagai ketinggian tempat, namun tempat tumbuh terbaik berada pada ketinggian tempat antara 400 – 2000 mdpl, dengan curah hujan 1200 – 3000 mm/tahun. Pohon pinus yang ditanam pada ketinggian tempat <400 mdpl akan menyebabkan pertumbuhannya tidak optimal karena suhu udara yang terlalu tinggi. Selain itu, pertumbuhan pohon pinus yang ditanam di ketinggian tempat > 2000 mdpl juga tidak akan optimal karena terjadi penghambatan pada proses fotosintesis (Perum Perhutani, 2014).

Perhitungan potensi karbon diperlukan dalam memasuki era perdagangan karbon, dimana negara maju akan memberikan bantuan pembiayaan dan teknologi kepada negara berkembang yang terbukti dapat mengurangi emisi karbonnya, dengan mekanisme yang dapat diukur, dilaporkan dan diverifikasi. Perhitungan potensi karbon sudah cukup banyak dilakukan meskipun belum mewakili semua jenis tanaman hutan dan mewakili wilayah di Indonesia, sehingga informasi mengenai potensi serapan karbon pada berbagai pola tegakan masih terbatas (Widiatmaka, 2013).

Berdasarkan pernyataan tersebut, maka penelitian mengenai potensi simpanan karbon pada tegakan pinus dengan umur berbeda di Kecamatan Mengkendek Kabupaten Tana Toraja dirasa penting karena dengan mengetahui jumlah karbon yang mampu disimpan oleh pinus, kita akan lebih memahami manfaat ekologi hutan tanaman pinus sebagai penyimpan karbon. Hal ini

diperlukan agar pengetahuan kita tentang sumbangan hutan tanaman pinus untuk mengurangi pemanasan global dapat lebih ditingkatkan.

2.2 Tujuan dan Kegunaan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi simpanan karbon pada tegakan pinus dengan umur berbeda di Kecamatan Mengkendek Kabupaten Tana Toraja.

Kegunaan dari penelitian ini adalah dapat memberikan informasi kepada akademisi dan praktisi mengenai kontribusi karbon yang tersimpan pada tegakan pinus sebagai salah satu bentuk upaya dalam mengendalikan pemanasan global.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pohon Pinus

Pinus atau tusam adalah sebutan bagi tumbuhan yang tergabung dalam marga pinus, di Indonesia penyebutan tusam atau pinus biasanya ditujukan pada tusam sumatera (*Pinus merkusii* Jungh. Et de Vries). Pinus merupakan pohon besar, batang lurus, silindris. Tegakan pinus normal dapat mencapai tinggi 30 m, diameter 60-80 cm. Tegakan pinus tua dapat mencapai tinggi 45 m, diameter 140 cm. Tajuk pohon muda berbentuk piramid, setelah tua lebih rata dan tersebar. Kulit pohon muda abu-abu, sesudah tua berwarna gelap, alur dalam. Daun pinus berbentuk daun jarum, terdapat 2 helai dalam satu daun, panjang 16-25 cm, berumah satu, bunga berkelamin tunggal, bunga jantan dan betina dalam satu tunas, bunga jantan berbentuk strobili, panjang 2-4 cm, terutama di bagian bawah tajuk (Oktavia dan Supangat, 2007).

2.1.1 Sistematika Pinus

Klasifikasi pinus menurut Oktavia dan Supangat (2007) sebagai berikut :

Regnum	: Plantae
Divisi	: Coniferophyta
Kelas	: Pinopsida
Ordo	: Pinales
Famili	: Pinaceae
Genus	: <i>Pinus</i>
Spesies	: <i>Pinus merkusii</i>

Pohon pinus memiliki akar tunggang dengan sistem perakaran yang cukup dalam dan kuat sehingga dapat tumbuh di tanah yang dalam atau tebal dengan tekstur tanah ringan sampai sedang. Jenis pinus ini juga tidak memiliki syarat tinggi untuk jenis tanah tempat tumbuhnya karena pohon pinus dapat tumbuh pada berbagai jenis tanah, bahkan pada tanah dengan pH asam (Perum Perhutani, 2014).

Pinus merkusii dapat tumbuh di berbagai ketinggian tempat, namun tempat tumbuh terbaik bagi jenis pohon pinus ini berada pada ketinggian tempat antara 400 – 2000 mdpl. Pohon pinus yang ditanam pada ketinggian tempat <400 mpdl akan menyebabkan pertumbuhannya tidak optimal karena suhu udara yang terlalu tinggi. Selain itu, pertumbuhan pohon pinus yang ditanam di ketinggian tempat >2000 mdpl juga tidak akan optimal karena terhambatnya proses fotosintesis (Perum Perhutani, 2014).

Tempat tumbuh yang baik bagi jenis pinus ini memiliki curah hujan 1200 - 3000 mm/tahun dan jumlah bulan kering 0 – 3 bulan. Di Sulawesi Selatan, pinus dapat tumbuh dengan baik pada tempat yang memiliki ketinggian diatas 400 mdpl dengan curah hujan 4000 mm/tahun (Sallata, 2013).

2.1.2 Penyebaran Tempat Tumbuh dan Manfaat

Pinus merkusii merupakan satu – satunya jenis pinus yang tumbuh alami di Indonesia khususnya di Aceh, Tapanuli dan Kerinci. Namun mulai pada zaman kolonial Belanda pinus mulai ditanam di Pulau Jawa untuk bahan baku industri kertas dan untuk keperluan reboisasi lahan – lahan kritis. Hingga saat ini, pinus berkembang pesat diseluruh wilayah Jawa dan Sulawesi. Penyebaran pinus di Sulawesi Selatan terdapat di Kab. Gowa, Maros, Enrekang, Bantaeng, dan Tana Toraja. Selain di Indonesia, pohon pinus juga tumbuh di Vietnam, Kamboja, Thailand, Myanmar, India, dan Filipina (Burrahman, 2006).

Jenis tanaman ini bernilai tinggi ditinjau dari segi ekonomi, sosial dan ekologis. Bagian dari pohon pinus yang dimanfaatkan oleh manusia adalah kayu dan getahnya. Kayunya digunakan untuk konstruksi ringan, mebel, pulp, korek api dan sumpit. Sedangkan getahnya diolah untuk menghasilkan gondoruken dan terpentin. Pohon tua dapat menghasilkan 30 – 60 kg getah, 20 – 40 kg gondoruken dan 7 – 14 kg terpentin per tahun. Gondoruken digunakan sebagai bahan baku dalam indutri kertas, keramik, plastik, cat, batik, tinta cetak, farmasi dan kosmetik. Sementara itu, terpentin dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam industri kosmetik, minyak cat, campuran bahan pelaut, antiseptik, kamper dan farmasi (Hidayat dan Hansen, 2001).

2.2 Biomassa

Pengertian biomassa ditinjau dari asal kata bio dan massa, sehingga biomassa tanaman adalah massa dari bagian hidup tanaman. Bio mengandung pengertian bagian dari makhluk hidup. Massa memiliki arti yaitu parameter kepadatan dari suatu benda atau zat yang memberikan unsur percepatannya bila suatu gaya diberikan. Dengan demikian biomassa tanaman adalah bahan hidup yang dihasilkan tanaman yang bebas dari pengaruh gravitasi, sehingga nilainya tidak sama dengan berat yang tergantung kepada tempat penimbangan dan berhubungan dengan gaya gravitasi (Handoko, 2007).

Biomassa juga dapat diartikan sebagai materi yang berasal dari makhluk hidup, termasuk bahan organik baik yang hidup maupun yang mati, baik yang ada di atas permukaan tanah maupun yang berada dibawah permukaan tanah seperti pohon, hasil panen, rumput, serasah, akar, hewan serta sisa kotoran hewan (Sutaryo, 2009). Jumlah karbon yang disimpan di dalam pohon atau hutan dapat dihitung apabila kita mengetahui jumlah biomassa atau jaringan hidup tumbuhan di hutan tersebut dan memberlakukan suatu faktor konversi (Rusolono, 2006).

Terdapat banyak istilah yang terkait dengan penelitian tentang pohon. Beberapa istilah tersebut diantaranya adalah sebagai berikut (Sutaryo, 2009) :

- 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
- h. Minimal tertentu hingga ke pucuk, bagian ini sering merupakan komponen utama dari sisa pembalakan
- i. Cabang (*branches*) semua dahan dan ranting kecuali daun
- j. Dedaunan (*foliage*) semua duri-duri, daun, bunga dan buah.

Biomassa dapat diukur secara akurat melalui penebangan, pengeringan, dan penimbangan. Akan tetapi cara tersebut tidak efisien dan membutuhkan biaya yang cukup besar.

Menurut Hajriah dan Rahayu (2007) stok karbon diestimasi dari biomasanya dengan mengikuti aturan 46% biomassa adalah karbon. Adapun metode estimasi biomassa salah satunya adalah metode allometrik. Estimasi dilakukan dengan cara mengukur diameter batang pohon setinggi dada (*diameter at breast height*, DBH), yang terdapat pada plot penelitian, kemudian DBH digunakan sebagai variabel bebas dari persamaan allometrik yang menghubungkan biomassa sebagai variabel terikat dan DBH sebagai variabel bebas (Bakri, 2009).

2.3 Karbon

Karbon merupakan unsur kimia bukan logam dengan simbol atom C yang terdapat di dalam bahan organik. Unsur ini mempunyai nomor atom 6 dan berat atom 12 (Agus, 2011).

2.3.1 Karbon Dioksida (CO₂)

Karbon dioksida (CO₂) umumnya tidak dikategorikan sebagai polutan udara karena merupakan komponen yang secara normal terdapat di udara. CO₂ secara kontinyu mengalami sirkulasi ke dalam dan keluar atmosfer di dalam siklus yang menyangkut aktivitas tanaman dan hewan. Siklus karbon tanaman melalui fotosintesis menggunakan energi sinar matahari untuk mereaksikan CO₂ dari udara dengan air untuk memproduksi karbohidrat dan oksigen.

Karbohidrat yang terbentuk disimpan didalam tanaman, dan oksigen dilepaskan ke atmosfer. Tanaman jika teroksidasi melalui dekomposisi alami, dibakar, atau dikonsumsi oleh hewan, oksigen diabsorpsi dari udara dan CO₂ akan dilepaskan kembali ke atmosfer. Proses ini merupakan siklus karbon alami yang menghasilkan CO₂ atmosfer yang konstan jika tidak terganggu oleh aktivitas manusia (Fardiaz, 1992).

Manusia dapat mengganggu siklus karbon melalui beberapa aktivitasnya, misalnya penggundulan tanaman, pembakaran minyak bumi, dan mengubah batu kapur menjadi semen. Penggundulan tanaman menurunkan kemampuan alam untuk menghilangkan CO₂ dari atmosfer, sedangkan pembakaran minyak bumi dan produksi semen dari batu kapur meningkatkan jumlah CO₂ di udara. Pengaruh total dari aktivitas tersebut adalah terjadinya kenaikan CO₂ di atmosfer. Aktivitas yang paling banyak pengaruhnya terhadap kenaikan CO₂ di atmosfer adalah pembakaran minyak bumi (Fardiaz, 1992).

Pengaruh rumah kaca terbentuk dari interaksi antara CO₂ atmosfer yang jumlahnya meningkat. Sinar matahari terdiri dari bermacam-macam panjang gelombang, kebanyakan radiasi yang mencapai permukaan bumi terletak pada kisaran sinar tampak (visible). Ozon yang terdapat secara normal di atmosfer bagian atas, menyaring sebagian besar sinar infrared (panjang gelombang lebih panjang daripada sinar tampak) yang dirasakan kita sebagai panas (Fardiaz,1992).

2.3.2 Siklus Karbon

Secara alami, pelepasan karbon hutan ke atmosfer, atau disebut emisi terjadi melalui berbagai mekanisme seperti respirasi makhluk hidup, dekomposisi bahan organik serta pembakaran biomassa. Selain melakukan proses fotosintesis untuk mengubah karbon dioksida (CO₂) menjadi oksigen (O₂) dan glukosa, tumbuhan juga melakukan proses respirasi yang melepaskan CO₂. Namun proses ini cenderung tidak signifikan karena CO₂ yang dilepas masih dapat diserap kembali pada saat proses fotosintesis (Manuri dkk, 2011).

Saat tumbuhan atau satwa hutan mati, akan terjadi proses penguraian oleh bakteri dan mikroba yang juga melepaskan CO₂ ke atmosfer. Di hutan alam akan banyak terjadi kematian pohon akibat usia, persaingan tempat tumbuh maupun akibat lain seperti hama, penyakit maupun bencana alam. Kematian tumbuhan

juga secara alami selalu diimbangi dengan proses regenerasi, sehingga terjadi keseimbangan ekologis termasuk keseimbangan karbon atau yang dikenal dengan istilah “*carbon neutral*”. Namun pada saat unsur antropogenik terlibat secara berlebihan dalam ekologi hutan, maka akan terjadi proses percepatan pelepasan emisi akibat dekomposisi. Pada kenyataannya, pelepasan emisi antropogenik tersebut tidak dapat diimbangi oleh laju penyerapan karbon oleh hutan karena luas dan kualitas hutan juga semakin menyusut (Walker dkk, 2008).

Proses eksploitasi atau pemanenan hutan, akan menyebabkan kematian pohon yang ditebang maupun “*logging damage*” bagi pohon-pohon kecil di sekitarnya akibat penebangan, penyaradan, maupun pembuatan jalan sarad oleh traktor. Tanpa menerapkan pembalakan berdampak rendah (*Reduced Impact Logging-RILL*), kerusakan akibat penebangan menjadi sangat besar dan meningkatkan tingkat mortalitas yang tinggi. Secara otomatis pula, tingkat emisi akibat dekomposisi menjadi lebih besar (Manuri dkk, 2011).

Jika tebang pilih (*selective logging*) yang diterapkan, dan hutan dibiarkan untuk pulih selama bertahun-tahun, maka masih ada kesempatan bagi hutan untuk menyerap kembali CO₂ yang terlepas kembali ke permukaan bumi. Namun jika terjadi penggundulan hutan atau deforestasi akibat penebangan liar, kebakaran hutan, perambahan maupun konversi lahan, maka penyerapan karbon menjadi tidak seimbang lagi. Degradasi dan deforestasi hutan yang terjadi saat ini tidak diimbangi dengan laju regenerasi hutan alam. Hal ini menyebabkan laju deforestasi yang sangat tinggi yang diperkirakan lebih dari 1 juta hektar per tahun atau 0,7 juta hektar pertahun untuk periode 2000-2005 (Walker dkk, 2008).

Dinamika karbon di alam dapat dijelaskan secara sederhana dengan siklus karbon. Siklus karbon adalah siklus biogeokimia yang mencakup pertukaran atau perpindahan karbon diantara biosfer, pedosfer, geosfer, hidrosfer dan atmosfer bumi. Siklus karbon sesungguhnya merupakan suatu proses yang rumit dan setiap proses saling memengaruhi proses lainnya (Sutaryo,2009).

Tumbuhan akan mengurangi karbon di atmosfer (CO₂) melalui proses fotosintesis dan menyimpannya dalam jaringan tumbuhan. Ketika sampai waktunya karbon tersebut kembali ke atmosfer, dan karbon tersebut akan menempati salah satu dari sejumlah kantong karbon. Semua komponen penyusun

vegetasi baik pohon, semak, liana dan epifit merupakan bagian dari biomassa atas permukaan. Di bawah permukaan tanah, akar tumbuhan juga merupakan penyimpan karbon selain tanah itu sendiri. Pada tanah gambut, jumlah simpanan karbon mungkin lebih besar dibandingkan dengan simpanan karbon yang ada di atas permukaan. Karbon juga masih tersimpan pada bahan organik mati dan produk-produk berbasis biomassa seperti produk kayu baik ketika masih dipergunakan maupun sudah berada di tempat penimbunan. Karbon dapat tersimpan dalam kantong karbon dalam periode yang lama atau hanya sebentar. Peningkatan jumlah karbon yang tersimpan dalam *carbon pool* ini mewakili jumlah carbon yang terserap dari atmosfer (Sutaryo, 2009).

Siklus karbon secara global ini merupakan salah satu proses biogeokimia di dalam planet yang membantu pengaturan kadar CO₂ di atmosfer. Siklus biogeokimia adalah siklus senyawa kimia yang mengalir dari komponen abiotik ke biotik dan kembali lagi ke komponen abiotik. Siklus tersebut juga melibatkan reaksi-reaksi kimia dalam lingkungan abiotik sehingga disebut siklus biogeokimia. Diperkirakan sekitar 830 milyar ton karbon tersimpan dalam hutan di seluruh dunia. Jumlah ini merupakan sebagian besar dari kandungan karbon dalam atmosfer yang terikat dalam CO₂. Secara kasar sekitar 40% atau 330 milyar ton karbon tersimpan dalam bagian pohon dan bagian tumbuhan hutan lainnya di atas permukaan tanah, sedangkan sisanya yaitu sekitar 60% atau 500 milyar ton tersimpan dalam tanah hutan dan akar-akar tumbuhan di dalam hutan (Suhendang, 2002).

2.3.3 Simpanan dan Serapan Karbon

Jumlah karbon yang tersimpan dalam pohon berbanding linear dengan kenaikan biomassa pohon dan mencapai kondisi stabil pada saat umur pohon sudah mencapai masa tebang. Pada tahap awal pertumbuhan pohon, volume serapan karbon berjalan lambat sesuai pertambahan tumbuh dari semai menjadi sapihan. Sedangkan pada tahap pertumbuhan dari fase akhir sapihan ke fase tiang dan pohon merupakan proses penambahan biomassa yang sangat cepat karena pertumbuhan pohon mengalami peningkatan pertambahan volume batang dan tajuk yang sangat cepat (Paembonan, 2012).

Hutan, tanah laut dan atmosfer semuanya menyimpan karbon yang berpindah secara dinamis diantara tempat-tempat penyimpanan tersebut sepanjang waktu. Tempat penyimpanan ini disebut dengan kantong karbon aktif (*active carbon pool*). Penggundulan hutan akan mengubah kesetimbangan karbon dengan meningkatkan jumlah karbon yang berada di atmosfer dan mengurangi karbon yang tersimpan di hutan, tetapi hal ini tidak menambah jumlah keseluruhan karbon yang berinteraksi dengan atmosfer (Sutaryo, 2009).

Darussalam (2011), mengatakan bahwa dalam tegakan hutan, karbon terdapat pada :

- a. Pohon dan Akar , 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 , yaitu pada vegetasi bukan pohon (semak, belukar, herba dan rerumputan);
- c. Sampah hutan, yaitu pada biomassa mati di atas lantai hutan, termasuk sisa pemanenan
- d. Tanah , 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.

Menurut Bakri (2009) dalam inventarisasi karbon hutan, *carbon pool* yang diperhitungkan setidaknya ada 4 kantong karbon. Keempat kantong karbon tersebut adalah biomassa atas permukaan, biomassa bawah permukaan, bahan organik mati dan karbon organik tanah. Dimana :

- a. Biomassa atas permukaan adalah semua material hidup di atas permukaan tanah. Termasuk bagian dari kantong karbon ini adalah batang, tunggul, cabang, kulit kayu, biji dan daun dari vegetasi baik dari strata pohon maupun dari strata tumbuhan bawah di lantai hutan.
- b. Biomassa bawah permukaan adalah semua biomassa dari akar tumbuhan yang hidup. Pengertian akar ini berlaku hingga ukuran diameter tertentu yang ditetapkan. Hal ini dilakukan sebab akar tumbuhan dengan diameter yang

lebih kecil dari ketentuan cenderung sulit untuk dibedakan dengan bahan organik tanah dan serasah

- c. Bahan organik mati meliputi kayu mati dan serasah. Serasah dinyatakan sebagai semua bahan organik mati dengan diameter yang lebih kecil dari diameter yang telah ditetapkan dengan berbagai tingkat dekomposisi yang terletak di permukaan tanah. Kayu mati adalah semua bahan organik mati yang tidak tercakup dalam serasah baik yang masih tegak maupun yang roboh di tanah, akar mati, dan tunggul dengan diameter lebih besar dari diameter yang telah ditetapkan.
- d. Karbon organik tanah mencakup karbon pada tanah mineral dan tanah organik termasuk gambut.

2.3.4 Perhitungan Karbon Tersimpan

Nilai karbon tersimpan ditentukan dengan pengukuran biomassa pohon. Karbon tersimpan merupakan 46% dari biomassa pohon yang diukur, biomassa pohon (dalam berat kering) dihitung menggunakan “*allometric equation*” berdasarkan pada diameter batang setinggi 1,3 m di atas permukaan tanah (Bakri, 2009).

Stok karbon hutan dapat dihitung menggunakan berbagai macam pendekatan, diantaranya dengan menghitung volume biomassa yang tersimpan pada batang, cabang, ranting, lantai hutan, kayu mati, akar dan tanah (*carbon pools*). Secara umum 70% potensi biomassa permukaan tanah sangat penting dalam perhitungan karbon hutan. Sebagaimana diketahui karbon hutan tersimpan didalam biomassa tumbuhan sebagai hasil dari proses fotosintesis. Beberapa hasil penelitian menyebutkan bahwa 50% dari karbon hutan tersimpan di dalam biomassa tumbuhan (Pusat Standarisasi dan Lingkungan, Kementerian Kehutanan dan Forest Carbon Partnership Facility-World Bank, 2012).

Perhitungan karbon yang kredibel memerlukan pelatihan dengan materi dari metode perhitungan karbon yang sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI). SNI pengukuran dan perhitungan cadangan karbon – pengukuran lapangan untuk penaksiran cadangan karbon hutan (*Ground Based forest Carbon Accounting*) (SNI 7724 : 2011) dan standart nasional Indonesia penyusunan

persamaan allometrik untuk penaksiran cadangan karbon hutan dilakukan berdasarkan pengukuran lapangan. *Carbon accounting* adalah istilah baru yang terkait dengan perhitungan emisi karbon atau cadangan karbon yang tersimpan di dalam hutan (Pusat Standarisasi dan Lingkungan, Kementerian Kehutanan dan Forest Carbon Partnership Facility-World Bank, 2012).

Sehubungan dengan pelaksanaan inventarisasi karbon hutan, ada beberapa standar mengenai metode inventarisasi karbon hutan dan metode untuk penyusunan persamaan allometrik dijelaskan mengenai metode inventarisasi karbon hutan yang meliputi metode *samplingnya*, pengukuran dalam plot atau subplotnya yang terdiri atas : pengukuran pohon, tiang, semai, tumbuhan bawah, kayu mati dan pengambilan sampel tanah untuk menghitung kandungan bahan organik dalam tanah tersebut, desain sampling dengan menggunakan stratifikasi baik secara acak maupun sistematis dengan menggunakan petak ukur baik lingkaran, bujur sangkar maupun persegi panjang. *Setting plot* merupakan bentuk lain dalam inventarisasi untuk mengetahui kandungan karbon, yaitu menggunakan luasan yang berbeda untuk pengukuran tingkat pohon, tiang, sapihan dan semai. Pengambilan sampel pohon dan tumbuhan bawah jika diperlukan dapat menggunakan metode *destructive sampling* dengan catatan tidak dilakukan di kawasan konservasi. Kepentingan perhitungan total biomassa dilakukan dengan menjumlah biomassa permukaan tanah, biomassa tanah sedangkan untuk menghitung kandungan C organiknya, sampel dari lapangan digiling kemudian diuji dengan metode *Walkey and black* di laboratorium.

Sedangkan tahapan proses untuk penyusunan persamaan allometrik berdasarkan SNI 7725 : 2011, terdiri atas :

1. Penentuan pohon contoh
2. Pengukuran diameter pohon setinggi dada (Dbh)
3. Pengukuran tinggi total pohon contoh
4. Penimbangan berat basah total
5. Pengambilan dan penimbangan berat basah uji
6. Analisis berat kering di laboratorium
7. Formulasi persamaan allometrik