

SKRIPSI

ESTIMASI CADANGAN KARBON PADA SUMBER GENETIK TUSAM SUMATRA (*Pinus merkusii* Jungh. et de Vriese) DAN PINUS ROMBENG (*Pinus sp*) DI DESA BONTO LOJONG, KECAMATAN ULUERE, KABUPATEN BANTAENG

Oleh:

M. ARIF BUDIMAN

M011 17 1320



PROGRAM STUDI KEHUTANAN

FAKULTAS KEHUTANAN

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2024

HALAMAN PENGESAHAN

HALAMAN PENGESAHAN

**ESTIMASI CADANGAN KARBON PADA SUMBER GENETIK
TUSAM SUMATRA (*Pinus merkusii* Jungh. et de Vriese) DAN PINUS
ROMBENG (*Pinus sp*) DI DESA BONTO LOJONG, KECAMATAN
ULUERE, KABUPATEN BANTAENG**

M. ARIF BUDIMAN

M011171320

Skripsi ini telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Kehutanan
Fakultas Kehutanan
Universitas Hasanuddin
Pada tanggal, 25 April 2024

Menyetujui,

Komisi Pembimbing

Pembimbing I



Ir. Mukrimin, S.Hut., M. P., Ph.D., IPU
NIP. 19780209 200812 1 001

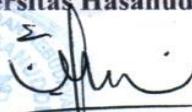
Pembimbing II



Gusmiaty, S.P., M.P.
NIP. 19791120 200912 2 002

Mengetahui,

**Ketua Program Studi Kehutanan
Fakultas Kehutanan
Universitas Hasanuddin**



Dr. Ir. Sitti Nuraeni, M.P
NIP. 19680410199512 2 001

Tanggal Lulus: 24 April 2024

PERNYATAAN KEASLIAN

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M. Arif Budiman
NIM : M011171320
Program Studi : Kehutanan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya berjudul:

“Estimasi Cadangan Karbon pada Sumber Genetik Tusam Sumatra (*Pinus merkusii* Jungh. et de Vriese) dan Pinus Rombeng (*Pinus sp*) di Desa Bonto Lojong, Kecamatan Uluere, Kabupaten Bantaeng”

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

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

Makassar, 25 April 2024

Yang menyatakan



M. Arif Budiman

ABSTRAK

M. Arif Budiman (M011 17 1320) Estimasi Cadangan Karbon pada Sumber Genetik Tusam Sumatra (*Pinus merkusii* Jungh. et de Vriese) dan Pinus Rombeng (*Pinus sp*) di Desa Bonto Lojong, Kecamatan Uluere, Kabupaten Bantaeng di bawah bimbingan Mukrimin dan Gusmiaty.

Cadangan karbon adalah kandungan karbon yang tersimpan baik pada permukaan tanah sebagai biomassa tanaman, sisa tanaman yang sudah mati, maupun dalam tanah sebagai bahan organik. Emisi karbon yang tersebar di atmosfer berasal dari kegiatan manusia menyebabkan peningkatan konsentrasi karbon atau Gas Rumah Kaca (GRK). Salah satu program dalam pemanfaatan hutan yakni Forestry and Other Land Use (FOLU) Net Sink 2030 yang bertujuan menurunkan emisi GRK dari sektor kehutanan dengan penggunaan lahan dimana kondisi tingkat serapan karbon lebih tinggi dibanding emisi yang dihasilkan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menduga potensi cadangan karbon serta kemampuan menyerap karbon yang kemudian dianalisis perbedaannya dan menentukan tindakan budidaya yang sesuai dengan peruntukannya pada Tusam Sumatra (*Pinus merkusii*) dan Pinus Rombeng (*Pinus sp*) di Desa Bonto Lojong, Kecamatan Uluere, Kabupaten Bantaeng. Teknik yang digunakan pada penelitian ini yakni *Purposive Sampling* dengan bertujuan menentukan areal plot dengan melihat individu pohon yang terdapat di lapangan. Hasil penelitian menunjukkan pada areal *Pinus merkusii* memiliki potensi cadangan karbon mencapai 16,56 ton/ha dengan serapan karbon 60,72 ton/ha, sedangkan pada areal *Pinus sp* memiliki potensi cadangan karbon mencapai 12,09 ton/ha dengan serapan karbon 44,34 ton/ha. Banyaknya jumlah vegetasi tersebut membantu penyerapan CO₂ secara optimal pada lokasi penelitian, khususnya pada tegakan *Pinus merkusii*.

Kata Kunci: Cadangan Karbon, Emisi Karbon, dan Hutan Pinus

ABSTRACT

M. Arif Budiman (M011 17 1320) Carbon Stocks Estimation in Sources of Genetic Resources of Tusam Sumatra (*Pinus merkusii* Jungh. et de Vriese) and Pinus Rombeng (*Pinus sp*) in Bonto Lojong Village, Uluere Subdistrict, Bantaeng District Under the Guidance of Mukrimin and Gusmiaty.

Carbon stocks are the amount of carbon stored in various forms, including above-ground biomass of plants, dead plant material, and organic matter in soil. Human activities, such as burning fossil fuels, contribute to increased carbon concentrations in the atmosphere, commonly known as Greenhouse Gas (GHG) emissions. The Forestry and Other Land Use (FOLU) Net Sink 2030 program aims to reduce GHG emissions from the forestry sector by utilizing lands with higher carbon uptake capacity than emissions generated. The purpose of this study is to estimate the potential carbon stock and carbon absorption capacity of Tusam Sumatera (*Pinus merkusii* Jungh. et de Vriese) and Pinus Rombeng (*Pinus sp*) in the village of Bonto Lojong, Uluere Subdistrict, Bantaeng District. The research employs Purposive Sampling to identify plots based on the presence of individual trees in the field. The results indicate that the carbon stock potential of *Pinus merkusii* is 16.56 tons/ha with a carbon uptake of 60.72 tons/ha, while *Pinus sp* has a carbon stock potential of 12.09 tons/ha with a carbon uptake of 44.34 tons/ha. The abundance of vegetation aids in optimal CO₂ absorption at the study site, particularly in *Pinus merkusii*.

Keywords: Carbon Emissions, Carbon Stocks, and Pine Forest

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT atas berkah dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Estimasi Cadangan Karbon pada Sumber Genetik Tusam Sumatra (*Pinus merkusii* Jungh. et de Vriese) dan Pinus Rombeng (*Pinus sp*) di Desa Bonto Lojong, Kecamatan Uluere, Kabupaten Bantaeng**” guna memenuhi syarat dalam menyelesaikan pendidikan S1 di Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin.

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya dan penghargaan yang tulus penulis persembahkan kepada Ibu tercinta **St. Rahmatiah** dan Ayahanda **Abdul Muttalib** yang senantiasa mendoakan, menemani, memberi perhatian serta kasih sayang, mendidik dan membesarkan penulis. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada saudara-saudari **M. Irwan Tasrim, Erwin Adriansyah, Tri Wahyuningsih**, dan **Nurul Anugrah** yang selalu memberikan motivasi, dukungan serta doa. Semoga di hari esok, penulis kelak menjadi anak yang membanggakan dan berguna untuk keluarga.

Terdapat banyak kendala yang penulis hadapi dalam penyusunan dan penyelesaian skripsi ini. Namun, berkat adanya bantuan, arahan dan bimbingan dari berbagai pihak, semua kendala dapat terselesaikan dengan baik. Pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati penulis juga menyampaikan terima kasih khususnya kepada :

1. Bapak **Ir. Mukrimin, S.Hut., M.P., Ph.D., IPU** dan Ibu **Gusmiaty, S.P., M.P.** selaku dosen pembimbing yang dengan tulus, ikhlas dan sabar dalam meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam membimbing serta memberi arahan dalam penyusunan skripsi ini.
2. Ibu **Dr. Ir. Siti Halimah Larekeng, S.P., M.P.** dan Bapak **Dr. Ir. Andi Sadapotto, M.P.** selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran, bantuan serta koreksi dalam penyusunan skripsi.
3. Ketua Program Studi Kehutanan Ibu **Dr. Sitti Nuraeni, M.P.** dan seluruh **Dosen** serta **Staf Akademik** Fakultas Kehutanan atas seluruh bantuannya.
4. Bapak **H. Nasrun S.P.** selaku Pengelola Kampung Kopi Rumbia, Kanda **Supri** serta **Andri Petrus Nammu, Muh. Surhamzah, Fajar Prasetya, Muh. Yusuf**

- Fadel, Muh. Afdal, Jabal Nur Rahman** atas segala bantuan yang telah diberikan selama penulis melaksanakan pengambilan data sampel.
5. Saudara Seperjuangan antara lain **Ahmad Tahir, Andika Dwi Dunda, Armawan Budiman, Febrian Thomas Hingkam, Fauzan Zulfani, Irgat, Jupri Anto, Muh. Arya Jurabi, Muh. Taqwin Syam, Saiful Rafrin, dan Tri Ramadhan** yang telah kebersamai masa-masa perkuliahan penulis.
 6. Kepada Keluarga Besar “**UKM BK-SI UNHAS**” terkhusus **Andi Fatwa Bani Ilham, Andi Tenri Gatri Indah, Andi Nurindah, Fahmi Fathurrahman, Muh. Miraj Maulana, Nurhikmah Amir, Nurfadillah Sunardi, Sakti Ayoga Pratama dan Triana Sagita** yang telah menjadi rekan sejawat selama berproses di organisasi.
 7. Kepada Organisasi “**BE Kemahut SI-UNHAS**” telah menjadi ruang pembelajaran penulis dalam berorganisasi.
 8. Keluarga Besar “**Laboratorium Bioteknologi dan Pemuliaan Pohon**” penulis mengucapkan banyak terima kasih atas bantuan, diskusi dan sarannya.
 9. Seluruh teman-teman **FRAXINUS 2017** yang telah memberi dukungan.
 10. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu pesatu, yang telah membantu menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan yang perlu diperbaiki, untuk itu penulis mengharapkan adanya koreksi, kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sehingga menjadi masukan bagi penulis untuk peningkatan di masa yang akan datang. Akhir kata penulis mengharapkan penyusunan skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Makassar, 25 April 2024

M. Arif Budiman

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL SKRIPSI	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan dan Kegunaan Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Pohon Pinus	5
2.1.1 Sistematika Pinus	5
2.1.2 Penyebaran Tempat Tumbuh dan Manfaat	6
2.2. Biomassa	7
2.3. Karbon	9
2.3.1 Siklus Karbon	11
2.3.2 Simpanan dan Serapan Karbon	13
2.3.3 Perhitungan Karbon Tersimpan	14
III. METODE PENELITIAN	17
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	17
3.2 Alat dan Bahan	17
3.3 Penentuan Populasi dan Sampel	17
3.4 Jenis Data	17
3.4.1 Data Primer	18
3.4.2 Data Sekunder	18
3.5 Prosedur Penelitian	18

3.5.1 Perhitungan Biomassa Pohon	18
3.5.2 Perhitungan Biomassa Serasah	19
3.6 Analisis Data	20
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1 Deskripsi Lokasi Penelitian.....	24
4.1.1 Kondisi Geofisik Wilayah	24
4.1.2 Letak, Iklim, Lahan dan Penggunaannya.....	25
4.2 Perhitungan Biomassa Pohon Sampel.....	25
4.2.1 Biomassa Tegakan	25
4.2.2 Biomassa Serasah	27
4.3 Estimasi Potensi Cadangan Karbon Berdasarkan Pohon Sampel	29
4.4 Serapan Karbondioksida Hutan Pinus.....	31
4.5 Analisis Faktor-Faktor Pengaruh Perbedaan Karbon.....	33
V. PENUTUP	39
5.1 Kesimpulan.....	39
5.2 Saran.....	39

DAFTAR TABEL

Nomor urut	Halaman
1. Nilai Biomassa Serasah <i>Pinus merkusii</i> dan <i>Pinus sp</i>	28
2. Nilai Serapan Karbon <i>Pinus merkusii</i> dan <i>Pinus sp</i>	32
3. Analisis ragam perbedaan Cadangan Karbon <i>Pinus merkusii</i> dan <i>Pinus sp</i>	33

DAFTAR GAMBAR

Nomor urut	Halaman
1. Sketsa sub plot ukuran 1 m x 1 m untuk pengambilan serasah.....	19
2. Peta Lokasi Penelitian Berdasarkan Citra Satelit.....	24
3. Boxplot Nilai Biomassa a) Tegakan <i>Pinus merkusii</i> dan b) Tegakan <i>Pinus sp</i>	26
4. Estimasi Potensi Cadangan Karbon a) <i>Pinus merkusii</i> dan b) <i>Pinus sp</i>	30
5. Nilai <i>Standard Error Pinus merkusii</i> dan <i>Pinus sp</i>	34
6. Nilai <i>Eigen Atribut Sensorik Pinus merkusii</i> dan <i>Pinus sp</i>	35
7. Grafik <i>Score Plot</i> antara Komponen Utama <i>Pinus merkusii</i> dan <i>Pinus sp</i>	36
8. Grafik <i>Loading Plot</i> antara Komponen Utama <i>Pinus merkusii</i> dan <i>Pinus sp</i> ...	37
9. Grafik <i>Biplot</i> antara Komponen Utama <i>Pinus merkusii</i> dan <i>Pinus sp</i>	38

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor urut	Halaman
1. Data Pohon.....	44
2. Luas Areal Pengukuran.....	48
3. Data Perhitungan Biomassa Pohon dan Cadangan Karbon.....	49
4. Data Perhitungan Biomassa dan Karbon Serasah.....	54
5. Data Perhitungan Serapan Karbon.....	54
6. Analisis Ragam.....	60
7. Korelasi Antar Variabel Pengamatan.....	61
8. Dokumentasi Penelitian.....	62

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sumber daya alam seperti hutan sangat bermanfaat bagi hidup dan kehidupan secara langsung dan tidak langsung. Manfaat langsung dari keberadaan hutan termasuk kayu, produk hutan bukan kayu, dan satwa. Manfaat tidak langsung dari keberadaan hutan termasuk fungsinya sebagai pengatur tata air dan penyedia oksigen dan penyerap karbondioksida (CO₂). Fotosintesis menyerap CO₂ dari atmosfer dan air dari tanah untuk menghasilkan oksigen dan karbohidrat, yang kemudian akan berakumulasi menjadi selulosa daur kayu. Hal ini menunjukkan fungsi hutan sebagai penyerap dan penyimpan CO₂ dan menjaga cadangan karbon akan menjadi lebih penting dalam menghadapi perubahan iklim (Nurfansyah *et al.*, 2019). Sebagian besar emisi CO₂ yang tersebar di atmosfer berasal dari kegiatan manusia seperti pembakaran lahan, emisi kendaraan bermotor, dan limbah pabrik. Pembakaran lahan yang tidak terkendali akan menyebabkan peningkatan konsentrasi CO₂ atau gas rumah kaca. Hutan dapat menjadi solusi penting saat bumi menghadapi efek rumah kaca. Efek rumah kaca dapat mencakup pemanasan global serta peningkatan suhu udara yang disebabkan oleh peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer. Suhu bumi meningkat dikarenakan adanya perubahan keseimbangan radiasi (Haruna, 2020).

Ekosistem hutan atau sistem berbasis pepohonan diharapkan mampu mengurangi jumlah gas karbondioksida di udara melalui pemanfaatan gas CO₂ selama proses fotosintesis dan penimbunannya baik itu dalam biomassa tegakan maupun tumbuhan bawah (Indrajaya, 2016). Untuk meminimalkan dampak perubahan iklim, diperlukan upaya konservasi dan peningkatan cadangan karbon karena cadangan karbon dapat menjadi sumber emisi gas rumah kaca (GRK) dan berkontribusi terhadap penurunan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer yang berdampak pada laju perubahan iklim. Fotosintesis memungkinkan vegetasi berklorofil menyerap CO₂ dari atmosfer. Selain itu, hasil fotosintesis disimpan dalam bentuk biomassa yang memungkinkan vegetasi tumbuh lebih besar atau lebih tinggi secara fisiologis tidak berhenti berkembang. Secara umum, hutan dewasa

mampu menyerap lebih sedikit CO₂ daripada hutan yang sedang berkembang. Jumlah karbon yang disimpan di atmosfer akan meningkat dan bertahan lebih lama apabila hutan tetap dijaga kelestariannya. Sebagai informasi tambahan, vegetasi berkayu adalah jenis vegetasi yang paling banyak menyerap karbon (Drupadi *et al.*, 2021).

Seiring berjalannya waktu manusia dituntut untuk memanfaatkan hutan tidak terbatas pada itu saja, terdapat banyak program dalam pemanfaatan hutan salah satunya yakni Forestry and Other Land Use (FOLU) Net Sink 2030. FOLU Net Sink merupakan suatu kondisi yang ingin dicapai melalui penurunan emisi GRK dari sektor kehutanan dan penggunaan lahan dengan kondisi dimana tingkat serapan lebih tinggi dibanding emisi yang dihasilkan (Direktorat Jenderal Pengelolaan Hutan Lestari, 2022). FOLU Net Sink dapat berupa ekosistem seperti hutan, mangrove, dan lahan gambut, yang dapat menyimpan karbon dari atmosfer bumi. FOLU Net Sink erat kaitannya dengan emisi karbon tergantung dari tingkat keberhasilan dalam mengurangi emisi karbon di atmosfer bumi, hal ini dapat dicapai melalui peningkatan kinerja FOLU Net Sink seperti peningkatan pemuliaan hutan, peningkatan pengelolaan hutan, dan peningkatan penggunaan teknologi yang ramah lingkungan. FOLU Net Sink dalam hal sumber genetik pinus dinilai cukup penting dikarenakan dapat membantu mengurangi emisi karbon di atmosfer bumi dan membantu mengurangi pemanasan global serta sumber genetik pinus apabila ditelisik lebih jauh dapat digunakan untuk mengembangkan teknologi yang lebih ramah lingkungan seperti bioetanol yang dapat dibuat dari pinus yang dapat diperbaharui.

Tusam Sumatra atau akrab dikenal sebagai *Pinus merkusii* adalah salah satu jenis tanaman kehutanan yang paling banyak ditanam sebagai tanaman reboisasi dan tanaman HTI. Pohon pinus paling baik tumbuh di ketinggian antara 400 sampai 2.000 mdpl, dengan curah hujan 1.200 hingga 3.000 mm/tahun (Imanuddin *et al.*, 2020). Pinus memiliki sifat genetis yang baik sehingga dapat dengan mudah tersebar ke banyak tempat di Indonesia (Suryanaji *et al.*, 2021). Penanaman pinus untuk kegiatan reboisasi telah dimulai di Kabupaten Tana Toraja sejak tahun 1948, terutama di Provinsi Sulawesi Selatan. Program reboisasi yang didanai oleh Inpres (Instruksi Presiden) dimulai pada tahun 1976/1977 memungkinkan tanaman pinus

ditanam di banyak kabupaten di Sulawesi Selatan (Sallata, 2013). Namun, di luar Sumatra, terdapat suatu area hutan di mana Tuan Saferi (Kepala Mandor Kolonial Belanda) menanam tumbuhan *Pinus sp* pada tahun 1930-an. Menurut masyarakat lokal, pohon ini disebut Pinus Rombeng (KPHL Unit XV Jeneberang II). Ciri utama yang membedakan *Pinus merkusii* dan *Pinus sp* ialah kulit batang *Pinus sp* yang berwarna coklat keabu-abuan dan berwarna kemerahan, berbeda dengan *Pinus merkusii* batangnya agak retak dan kulitnya sulit dikelupas.

Sumber daya hutan Pinus Rombeng di Kabupaten Bantaeng dapat memberikan manfaat lingkungan dan pengembangan ekowisata. Potensi lingkungan *Pinus sp* sangat kecil, berbeda dengan *Pinus merkusii* yang getahnya dimanfaatkan oleh masyarakat sekitar untuk meningkatkan ekonomi lokal mereka (Musdalifah, 2021). Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa masyarakat yang tinggal di sekitar hutan membuka lahan dengan menggunakan pola perkebunan. Pola perkebunan ini menyebabkan populasi tumbuhan *Pinus sp* terganggu dikarenakan tidak diimbangi dengan kegiatan budidaya dan pemuliaan pohon yang memadai. Keberhasilan penanaman dapat meningkatkan jumlah populasi dan potensi genetik yang ada, sehingga upaya pemuliaan dapat dilakukan dengan mudah, seperti kegiatan seleksi dan persilangan untuk mendapatkan sifat-sifat yang diinginkan, serta perbanyakan massal untuk mewujudkan individu-individu yang diharapkan. Kegiatan pemuliaan dalam hal cadangan karbon dikatakan efektif apabila dapat membantu mengurangi emisi karbon di atmosfer bumi dan mengurangi pemanasan global. Pemuliaan juga dapat membantu dalam mengurangi kehilangan lahan hutan yang merupakan sumber utama karbon di atmosfer bumi (Juniarti *et al.*, 2013).

Berdasarkan pernyataan tersebut, maka penelitian mengenai estimasi cadangan karbon pada sumber genetik Tusam Sumatra (*Pinus merkusii*) dan Pinus Rombeng (*Pinus sp*) di Kabupaten Bantaeng penting dilakukan karena dengan membandingkan jumlah cadangan karbon yang mampu disimpan masing-masing oleh *Pinus merkusii* dan *Pinus sp* kita dapat menentukan kegiatan apa saja yang kiranya dapat meningkatkan nilai efektivitas suatu individu pohon untuk menyerap karbon serta sebagai masyarakat kita lebih dapat memahami manfaat ekologi dari hutan pinus sebagai penyimpan karbon. Hal ini juga diperlukan agar menambah

wawasan atau pengetahuan kita tentang serapan karbon hutan pinus sebagai sarana mengurangi emisi karbon yang tersebar di bumi.

1.2 Tujuan dan Kegunaan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menduga potensi cadangan karbon serta kemampuan menyerap karbon yang kemudian dianalisis perbedaannya dan menentukan tindakan budidaya yang sesuai peruntukannya pada Tusam Sumatra (*Pinus merkusii*) dan Pinus Rombeng (*Pinus sp*) di Desa Bonto Lojong, Kecamatan Uluere, Kabupaten Bantaeng. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai masukan baik itu dalam saran kegiatan untuk keberlanjutan penyebaran pinus maupun dalam penyusunan rencana pengelolaan hutan jangka Panjang (RPHJP). Kegunaan dari penelitian ini yaitu sebagai bahan informasi mengenai cadangan karbon dari *Pinus merkusii* dan *Pinus sp*.

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 Sumatra (*Pinus merkusii* Jungh. et de Vriese). 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 (Melinda *et al.*, 2022).

2.1.1 Sistematika Pinus

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. *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 di atas 400 mdpl dengan curah hujan 4000 mm/tahun (Sallata, 2013).

Selain di Indonesia pinus juga terdapat di belahan bumi bagian utara. Pinus dapat tumbuh di berbagai tempat dengan kondisi yang bervariasi. Pinus tumbuh mulai dari daerah kutub sampai daerah yang beriklim tropis. Pinus terdiri dari 95 spesies yang berbeda-beda, ditemukan di Amerika Tengah, Amerika Serikat, Meksiko, Kanada, Jepang, Cina, Vietnam dan Pegunungan Himalaya. Dari 95 spesies tersebut 13 di antaranya yang berasal dari Amerika Serikat bagian Timur dipindah tempatkan ke Georgia. Salah satu dari pinus tersebut adalah *Pinus taeda* (Coder, 2017).

P. taeda atau sering disebut *Pinus loblolly* merupakan salah satu spesies terbaik yang dibudidayakan diseluruh dunia untuk tanaman kehutanan. *P. taeda* sangat ideal untuk eksplorasi genom pada tanaman pinus, tanaman konifer dan gymnospermae. *P. taeda* dapat mencapai ketinggian 30-50 meter dengan diameter 0,4-1,5 meter. *P. taeda* termasuk tanaman yang tingkat pertumbuhannya cepat dan memiliki tingkat karbon dioksida yang cukup tinggi yang dapat membantu menahan badai es sehingga banyak yang membudidayakan pinus tersebut (Cezar *et al.*, 2015).

2.1.2 Penyebaran Tempat Tumbuh dan Manfaat

Pinus adalah tanaman tropis di kawasan Malesiana dan banyak dijumpai di wilayah Asia Tenggara yang bersinonim dengan *Pinus Sumatrana* Jungh., *P. finlaysonian* Wallich, *P. latteri* Mason, dan *P. merkiana* Gordon atau disebut dengan *Pinus merkusii*. Di Indonesia *Pinus merkusii* terdapat di Aceh, Sumatra Utara, Sumatra Barat dan seluruh Jawa. Selain di Indonesia pinus juga terdapat di Burma, Thailand, Vietnam, Laos, Kamboja, dan Filipina (Asri, 2020).

Selain *Pinus merkusii* terdapat jenis pinus yang tumbuh di Himalaya, Afghanistan dan diperbukitan India Selatan yaitu *Pinus roxburghii*. *P. roxburghii* termasuk pohon yang besar dengan mahkota yang menyebar dengan diameter batang hingga 2 meter. Ditemukan pada ketinggian 500 hingga 2.500 meter di atas permukaan laut dan tumbuh secara berkelompok. Diameter pohon pinus ini sekitar 2 meter, dengan kulit berwarna abu-abu gelap biasa juga kemerahan, kasar dan mudah terkelupas (Sharma *et al.*, 2018). Sedangkan *Pinus merkusii* yang tumbuh secara alami di Indonesia dapat tumbuh pada ketinggian antara 200-2000 mdpl, dengan kondisi optimal pada ketinggian antara 400-1500 mdpl. *Pinus merkusii*

dapat tumbuh baik pada tanah yang kurang subur seperti padang alang-alang. Sifatnya yang cepat tumbuh membuat pinus ini tidak memerlukan tempat tumbuh dengan persyaratan khusus. Batang pinus umumnya berbentuk bulat dan lurus. Kulitnya berwarna coklat sampai kehitam-hitaman, kasar, beralur dalam dan menyerpih menyerupai kepingan panjang, tinggi pohon dapat mencapai 70 m dengan batang bebas cabangnya $\pm 70\%$ dari total tinggi pohon. Batangnya berkulit tebal dan keras serta mengandung minyak sehingga rawan terhadap kebakaran. Sistem perakaran sangat dalam yang terdiri dari akar tunggang dan banyak akar-akar lateral, sehingga dapat membantu distribusi air ke dalam tanah dengan baik (Suryanaji *et al.*, 2021).

Umam *et al.* (2022) mengemukakan bahwa bagian dari pohon pinus hampir semuanya dapat dimanfaatkan seperti pada bagian batangnya dapat disadap untuk diambil getahnya. Getah pinus dapat juga diproses menjadi gondorukem dan terpentin. Gondorukem dapat digunakan sebagai bahan untuk membuat sabun, resin dan cat. Terpentin digunakan untuk bahan industri parfum, obat-obatan dan desinfektan. Hasil kayunya dapat digunakan untuk bahan konstruksi, furnitur, batang korek api, pulp dan kertas serat panjang. Bahan kulitnya digunakan sebagai bahan bakar dan abunya digunakan untuk campuran pupuk karena mengandung kalium.

Pinus sp merupakan pinus khas dari Bantaeng yang tergolong langka. Bentuk pinus ini agak berbeda dengan pinus pada umumnya, perbedaan yang paling menonjol dari pinus ini adalah bentuk batangnya. Kulit batang *Pinus sp* berwarna abu-abu dan ada juga yang berwarna agak kemerahan, menyerupai kepingan yang agak lebar dan mudah dikelupas.

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 (Oktavianto *et al.*, 2015). 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 di bawah permukaan tanah seperti pohon, hasil panen, rumput, serasah, akar, hewan serta sisa kotoran hewan (Uthbah *et al.*, 2017). 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

Terdapat banyak istilah yang terkait dengan penelitian tentang pohon. Beberapa istilah tersebut di antaranya adalah sebagai berikut (Uthbah *et al.*, 2017):

- 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 Gunawan (2022) 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.

2.3. Karbon

Karbon (C) merupakan suatu unsur yang diabsorpsi dari atmosfer melalui proses fotosintesis dan disimpan dalam bentuk biomassa (Istomo, I., & Farida, 2017). Kemampuan absorpsi karbon di hutan dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain iklim, topografi, karakteristik lahan, umur dan kerapatan vegetasi, komposisi jenis serta kualitas tempat tumbuh. Tempat penyimpanan utama karbon terdapat dalam biomasanya, bahan organik mati, tanah dan yang tersimpan dalam pohon yang dapat diemisikan untuk produk jangka panjang.

Biomassa hutan ikut berperan dalam siklus biogeokimia terutama dalam siklus karbon (Daulat *et al.*, 2014). Pengukuran jumlah karbon yang tersimpan pada tubuh tumbuhan hidup (biomassa) pada suatu lahan dapat menjelaskan jumlah gas karbon dioksida di atmosfer yang diserap oleh tumbuhan. Jumlah antar lahan berbeda-beda, tergantung pada keanekaragaman dan kerapatan tumbuhan, jenis tanahnya serta cara pengelolaannya. Jumlah penyimpanan karbon pada suatu lahan akan lebih besar apabila tanah pada lahan tersebut memiliki tingkat kesuburan yang baik, hal ini dikarenakan biomassa pohon yang meningkat. Pada ekosistem daratan, cadangan karbon akan tersimpan dalam tiga komponen, yaitu pada bagian hidup (biomassa), bagian mati (nekromassa), dan tanah (pada bagian bahan organik tanah).

Hutan-hutan 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 (Istomo, I., & Farida, 2017). Studi dan penelitian yang menjadikan pendugaan karbon sebagai objeknya telah banyak dilakukan di berbagai daerah. Namun hasil akhir pada setiap kawasan studi tidak selalu sama. Hal ini dikarenakan kondisi di setiap kawasan yang berbeda-beda. Ditegaskan pula oleh Suryanaji *et al.* (2021) bahwa keadaan ini dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti struktur vegetasi, pengelolaan yang berbeda dan rezim iklim. Sebagai perbandingan Ijazah & Sancayaningsih (2015) menjelaskan bahwa kadar kandungan karbon tersimpan di dalam biomassa pada hutan tropis berkisar antara 41,5% sampai 50%.

Hutan sangat potensial untuk dijadikan cadangan karbon yang selama ini telah menjadi penyebab polusi. Karbon di udara akan menjadi tercemar dan membahayakan kesehatan. Sebaliknya karbon dalam tubuh tumbuhan dalam bentuk karbohidrat dan senyawa turunannya akan menjadi sumber energi yang sangat bermanfaat. Gas karbondioksida di udara jika diubah menjadi karbohidrat berarti mengubah bahan berbahaya menjadi bahan yang bermanfaat. Untuk itu, keberadaan pepohonan akan memberikan manfaat yang sangat besar.

Cadangan karbon dalam hutan tersebut dapat berbentuk batang pohon yang berdiri di hutan, cabang dan ranting, serasah dan sampah yang tidak dibakar, bunga dan buah yang diawetkan, dan lain sebagainya. Batang kayu yang tetap dipertahankan dalam bentuk aslinya misalnya diberikan bahan pengawet atau dibuat bahan arsitektur, akan menjadi cadangan karbon yang tidak berbahaya berbeda jika batang kayu tersebut sudah terdekomposisi dan menjadi gas CO₂ yang berbahaya. Cabang dan ranting pohon jika tidak terdekomposisi juga akan menjadi cadangan karbon. Begitu pula serasah dan dedaunan tumbuhan, jika terawetkan akan menjadi cadangan karbon. Bunga atau buah tumbuhan yang memiliki nilai keindahan dapat diawetkan sebagai bahan perhiasan yang tanpa kita sadari hal tersebut merupakan langkah kita untuk mencegah proses dekomposisi menjadi gas karbondioksida (Idris, 2017).

2.3.1 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 karbondioksida (CO_2) menjadi oksigen (O_2) dan glukosa, tumbuhan juga melakukan proses respirasi yang melepaskan CO_2 . Namun proses ini cenderung tidak signifikan karena CO_2 yang dilepas masih dapat diserap kembali pada saat proses fotosintesis (Indrajaya, 2016). Saat tumbuhan atau satwa hutan mati, akan terjadi proses penguraian oleh bakteri dan mikroba yang juga melepaskan CO_2 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 (Lee *et al.*, 2016).

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 (Umam *et al.*, 2022). Jika tebang pilih (*selective logging*) yang diterapkan, dan hutan dibiarkan untuk pulih selama bertahun-tahun, maka masih ada kesempatan bagi hutan untuk menyerap kembali CO_2 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 per tahun untuk periode 2010-2015 (Lee *et al.*, 2016).

Dinamika karbon di alam dapat dijelaskan secara sederhana dengan siklus karbon. Siklus karbon adalah siklus biogeokimia yang mencakup pertukaran atau perpindahan karbon di antara biosfer, pedosfer, geosfer, hidrosfer dan atmosfer bumi. Siklus karbon sesungguhnya merupakan suatu proses yang rumit dan setiap proses saling memengaruhi proses lainnya (Haruna, 2020). Tumbuhan akan mengurangi karbon di atmosfer (CO_2) 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. Pada 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 (Haruna, 2020).

Siklus karbon secara global ini merupakan salah satu proses biogeokimia di dalam planet yang membantu pengaturan kadar CO_2 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 CO_2 . 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 (Daulat *et al.*, 2014).

2.3.2 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 pertumbuhan dari semai menjadi sapuhan. Sedangkan pada tahap pertumbuhan dari fase akhir sapuhan ke fase tiang dan pohon merupakan proses penambahan biomassa yang sangat cepat karena pertumbuhan pohon mengalami peningkatan pertumbuhan volume batang dan tajuk yang sangat cepat (Sultan *et al.*, 2020).

Hutan, tanah laut dan atmosfer semuanya menyimpan karbon yang berpindah secara dinamis di antara 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. Ahmad (2012) 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.

Selanjutnya Ahmad (2012) 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.

2.3.3 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 (Susila & Apriliani, 2021). 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 Achmaliadi *et al.* (2001) dalam Parerung (2022) mengemukakan 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*) (SNI 7724: 2016) dan Standar 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.

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: 2016, 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