

SKRIPSI

**ESTIMASI CADANGAN KARBON AGROFORESTRI BERBASIS KOPI
(*COFFEA SP.*) DI KECAMATAN TOMPOBULU KABUPATEN MAROS**

**A. NURHALIZAH AMANAH
G011 19 1292**



**PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI
DEPARTEMEN ILMU TANAH
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2024



HALAMAN SAMPUL

ESTIMASI CADANGAN KARBON AGROFORESTRI BERBASIS KOPI (*COFFEA SP.*) DI KECAMATAN TOMPOBULU KABUPATEN MAROS

A. NURHALIZAH AMANAH

G011 19 1292

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

Sarjana Pertanian

Pada

Departemen Ilmu Tanah

Fakultas Pertanian

Universitas Hasanuddin

Makassar

PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI

DEPARTEMEN ILMU TANAH

FAKULTAS PERTANIAN

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2024



DEKLARASI

Judul Skripsi : Estimasi Cadangan Karbon Agroforestri Berbasis Kopi (*Coffea Sp.*) Di Kecamatan Tompobulu Kabupaten Maros


Nama : A. Nurhalizah Amanah


Nim : G011 19 1292

Disetujui oleh :

Pembimbing Utama,


Pembimbing Pendamping,


Ir. Sartika Laban, S.P., M.P. Ph.D
NIP. 19821028 200812 2 002


Dr. Ir. Muh. Jayadi, M.P
NIP. 19590926 198601 1 001

Diketahui oleh :

Ketua Departemen Ilmu Tanah


Dr. Ir. Asmita Ahmad, S.T., M.Si
NIP. 19731216 200604 2 001

Tan



RET 2024

Optimization Software:
www.balesio.com

LEMBAR PENGESAHAN

ESTIMASI CADANGAN KARBON AGROFORESTRI BERBASIS KOPI (*COFFEA SP.*) DI KECAMATAN TOMPOBULU KABUPATEN MAROS

Disusun dan diajukan oleh:

A. NURHALIZAH AMANAH

G011 19 1292

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Masa Studi Program Sarjana, Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin pada tanggal 06 MARET 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui;

Pembimbing Utama,

Ir. Sartika Laban, S.P., M.P. Ph.D
NIP. 19821028 200812 2 002

Pembimbing Pendamping,

Dr. Ir. Muh. Javadi, M.P
NIP. 19590926 198601 1 001

Diketahui oleh :

Ketua Program Studi Agroteknologi

Dr. Ir. Abdul Haris, B, M.Si
NIP. 19670811 19943 1 003



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : A. Nurhalizah Amanah
Nomor Induk Mahasiswa : G011 19 1292
Program Studi : Agroteknologi
Jenjang : Strata-1 (S1)

menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya berjudul :

“ Estimasi Cadangan Karbon Agroforestri Berbasis Kopi (*Coffea Sp.*) Di Kecamatan Tompobulu Kabupaten Maros”

adalah karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan-alihan tulis orang lain bahwa semua literatur yang saya kutip sudah tercantum dalam Daftar Pustaka, semua bantuan yang saya terima telah saya ungkapkan dalam persantunan.

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

Makassar, 13 Maret 2024

Yang menyatakan



A. Nurhalizah Amanah



DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	ii
DEKLARASI.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
ABSTRAK.....	xi
ABSTRACT.....	xii
PERSANTUNAN	xiii
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Kopi.....	3
2.2 Agroforestri.....	4
2.3 Siklus Karbon.....	6
2.4 Cadangan Karbon.....	7
2.5 Biomassa	8
2.6 Perhitungan Cadangan Karbon	8
3. METODOLOGI PENELITIAN	10
3.1 Tempat dan Waktu	10
3.2 Deskripsi Lokasi Penelitian	10
3.2.1 Agroforestri Sederhana	10
3.2.2 Agroforestri Kompleks	10
3.2.3 Bahan.....	13
3.2.4 Metode Penelitian	13



4. HASIL DAN PEMBAHASAN	16
4.1 Hasil	16
4.2 Pembahasan.....	17
5. KESIMPULAN	22
5.1 Kesimpulan	22
DAFTAR PUSTAKA	23
LAMPIRAN.....	26



DAFTAR TABEL

Tabel 3-1	Alat dan bahan penelitian	13
Tabel 4-1	Rata-rata tinggi dan DBH tanaman pada kebun agroforestri sederhana dan agroforestri kompleks.....	16
Tabel 4-2	Kadar cadangan karbon atas pada tiap penggunaan lahan.....	17



DAFTAR GAMBAR

- Gambar 3-1. Lokasi pengambilan sampel penelitian biomassa, tumbuhan bawah, serasah dan nekromassa di Dusun Bonto-Bonto, Kecamatan Tompobulu, Kabupaten Maros.....10
- Gambar 3-2. Lokasi pengambilan sampel penelitian biomassa, tumbuhan bawah, serasah dan nekromassa di Dusun Tala Tala, Kecamatan Tompobulu, Kabupaten Maros.....11
- Gambar 3-3. Peta Lokasi Kebun Pengamatan Sistem Pertanaman Agroforestri Kompleks dan Agroforestri Sederhana Kecamatan Tompobulu Kabupaten Maros..... 12
- Gambar 3-4. Plot pengamatan dan pengambilan sampel biomassa, tumbuhan bawah, serasah dan nekromassa14
- Gambar 3-5. Ilustrasi pengukuran tinggi pohon menggunakan klinometer..... 15



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Rata- rata curah hujan tahunan Kecamatan Tompobulu, Maros.....	26
Lampiran 2. Pendugaan biomassa atas (kg/luas plot 125 x 20 m & 20 x 20 m).....	26
Lampiran 3. Pendugaan biomassa atas (ton/ha , plot 125 x 20 m & 20 x 20 m)	26
Lampiran 4. Data biomassa kebun agroforestri kompleks (Dusun Tala-Tala).....	26
Lampiran 5. Biomassa tumbuhan bawah, nekromassa, dan serasah kebun agroforestri kompleks (Dusun Tala-Tala).	33
Lampiran 6. Data biomassa kebun agroforestri sederhana (Dusun Bonto-Bonto)	34
Lampiran 7. Biomassa tumbuhan bawah, nekromassa, dan serasah kebun agroforestri sederhana (Dusun Bonto-Bonto).....	40
Lampiran 8. Dokumentasi kegiatan	41



ABSTRAK

A. NURHALIZAH AMANAH. Estimasi Cadangan Karbon Agroforestri Berbasis Kopi (*Coffea* Sp.) Di Kecamatan Tompobulu Kabupaten Maros (dibimbing oleh Sartika Laban dan Muh Jayadi).

Latar Belakang. Indonesia termasuk salah satu negara penghasil kopi terbesar di dunia. Produksi kopi Indonesia mencapai 640 ribu ton/tahun. Kecamatan Tompobulu, Kabupaten Maros merupakan salah satu daerah yang mengandalkan kopi sebagai sumber pendapatan. Sebagian besar petani di daerah ini melakukan budidaya tanaman kopi dengan sistem agroforestri baik sederhana maupun kompleks. Sistem ini merupakan salah satu upaya efisiensi dalam penambahan cadangan karbon. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari cadangan karbon yang ada di atas permukaan tanah pada sistem pertanaman agroforestri berbasis kopi sederhana maupun yang kompleks. **Metode.** Penelitian dilakukan di Dusun Bonto Bonto dan Dusun Tala Tala, Kecamatan Tompobulu, Kabupaten Maros, pada Juli hingga Desember 2023. Pengambilan sampel biomassa pada agroforestri sederhana dan kompleks dilakukan dengan metode *Rapid Carbon Stock Appraisal (RaCSA)* tanpa perusakan pada pepohonan dan metode destruktif pada pengambilan sampel tumbuhan bawah. Pendugaan cadangan karbon dilakukan dengan menggunakan rumus allometrik berdasarkan zona iklim. **Hasil.** Biomassa pohon pada agroforestri sederhana lebih banyak dibandingkan agroforestri kompleks yakni 4467,74 ton/ha, sedangkan kompleks sebesar 816,63 ton/ha. Biomassa tumbuhan bawah agroforestri sederhana lebih sedikit dibandingkan agroforestri kompleks sebesar 0,04 ton/ha sedangkan kompleks 0,014 ton/ha. Biomassa serasah dan nekromassa yang ada pada lahan agroforestri sederhana yaitu 4,42 ton/ha nekromassa dan 3,76 ton/ha serasah, sedangkan pada lahan agroforestri kompleks memiliki 4,57 ton/ha serasah dan 4,07 ton/ha serasah. Perkebunan agroforestri sederhana mampu mencadangkan cadangan karbon sebesar 2058,94 ton/ha sedangkan perkebunan agroforestri kompleks hanya mampu mencadangkan 379,69 ton/ha. **Kesimpulan.** Cadangan karbon pada sistem perkebunan agroforestri sederhana 5 kali lebih besar daripada agroforestri kompleks, yaitu sebanyak 2058,94 ton/ha dan pada sistem perkebunan agroforestri sederhana yaitu menghasilkan sebanyak 379,69 ton/ha. Sebagian besar karbon tercadangkan dalam bentuk biomassa pohon.

Kata Kunci: Agroforestri, biomassa, kompleks, sederhana, tanaman kopi.



ABSTRACT

A. NURHALIZAH AMANAH. Estimation of Carbon Reserves of Coffee-based Agroforestry (Coffea Sp.) in Tompobulu District, Maros Regency (supervised by Sartika Laban and Muh Jayadi).

Background. Indonesia is one of the largest coffee producing countries in the world. Indonesia's coffee production reaches 640 thousand tons/year. Tompobulu District, Maros Regency is one of the areas that rely on coffee as a source of income. Most farmers in this area cultivate coffee plants with simple or complex agroforestry systems. This system is one of the efficient efforts in adding carbon stocks. **Objective.** This research aims to study aboveground carbon stocks in simple and complex coffee-based agroforestry cropping systems. **Methods.** The research was conducted in Bonto Bonto Hamlet and Tala Tala Hamlet, Tompobulu District, Maros Regency, from July to December 2023. Biomass sampling in simple and complex agroforestry was carried out using the Rapid Carbon Stock Appraisal (RaCSA) method without destruction of trees and destructive methods in sampling understory plants. Carbon stock estimation was conducted using the allometric formula based on climate zones. **Results.** Tree biomass in simple agroforestry is more than complex agroforestry which is 4467.74 tons/ha, while the complex is 816.63 tons/ha. Biomass of lower plants in simple agroforestry is less than in complex agroforestry at 0.04 tons/ha while the complex is 0.014 tons/ha. The biomass of litter and necromass in simple agroforestry plantations is 4.42 tons/ha of necromass and 3.76 tons/ha of litter, while complex agroforestry plantations have 4.57 tons/ha of litter and 4.07 tons/ha of litter. Simple agroforestry plantations were able to reserve carbon reserves of 2058.94 tons/ha while complex agroforestry plantations were only able to reserve 379.69 tons/ha. **Conclusion.** Carbon reserves in simple agroforestry plantation systems are 5 times greater than complex agroforestry, which is as much as 2058.94 tons/ha and in simple agroforestry plantation systems it produces as much as 379.69 tons/ha. The simple agroforestry plantation system produced as much as 379.69 tons/ha. Most of the carbon is reserved in the form of tree biomass.

Keywords: Agroforestry, biomass, complex, simple, coffee plant.



PERSANTUNAN

Puji dan syukur kepada Allah SWT, atas nikmat cinta kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Estimasi Cadangan Karbon Agroforestri Berbasis Kopi (*Coffea* Sp.) Di Kecamatan Tompobulu Kabupaten Maros” sebagai salah satu syarat menyelesaikan pendidikan dan memperoleh gelar Sarjana Pertanian pada Program Studi Agroteknologi, Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin.

Dengan segala maaf, kerendahan hati dan rasa hormat menghaturkan ucapan terima kasih yang sebesar besarnya kepada semua pihak atas segala bantuan yang telah diberikan baik moril maupun materi terutama untuk kedua orang tua saya Bapak Ambo Tang dan Ibu Nurjannah yang selalu memberikan doa, dukungan dan motivasi untuk tidak berputus asa dalam belajar, berharap penulis bisa mencapai impian dan sukses. Penulis utamanya juga mengucapkan terima kasih kepada Ibu Ir. Sartika Laban, SP., M.P., Ph.D dan Bapak Dr. Ir. Muh. Jayadi, M.P selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktunya memberikan ilmu, saran, dan arahan serta nasihat yang memotivasi penulis agar dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan skripsi dengan baik.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada LPPM Unhas melalui dana hibah penelitian perguruan tinggi, Dosen – dosen Fakultas Pertanian, Staf Fakultas Pertanian Departemen Ilmu Tanah atas Ilmu Pengetahuan dan pelayanan selama melaksanakan Pendidikan di Universitas Hasanuddin. Kepada kerabat, saudara/i dan juga teman teman terkhusus Nurfitriah Islamiah, Sakinatul Khaer, Cici, Kak Rufaidah, Kak A. Massalangka, Kak Yabes Kurniawan, dan Kak Erwin Wijaya yang telah membantu selama penelitian, memberikan semangat, doa, serta memberikan canda dan tawa.

Terima kasih kepada sahabat Carkay Squad Nur Andini Arif, Ayuni Dwitri Sulaeman, Eva Novayanti, Hidayana Tahmrin, dan Nur Laela atas keterlibatan selama melaksanakan penelitian serta memberi semangat dan telah menemani healing selama ini. Terima kasih juga kepada Imam Ghazali dan A. Nuraimmah Amanah atas keterlibatan dalam penelitian, mendengarkan keluh kesahku, memberikan motivasi, dorongan, serta nasehat selama ini.

Penulis,



A. Nurhalizah Amanah



1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia termasuk sebagai salah satu negara penghasil kopi terbesar di dunia. Produksi kopi Indonesia mencapai 640 ribu ton per tahun, sekitar 71% (460 ribu ton) diekspor ke mancanegara (Kementan, 2019). Hal tersebut, menjadikan komoditas kopi sebagai sumber devisa non migas di Indonesia yaitu mencapai US\$ 1.175 milyar atau 32,01% dari total nilai ekspor hasil pertanian (BPS, 2018). Data *International Coffee Organization* (2019), menunjukkan bahwa produksi kopi Indonesia memberikan kontribusi sebesar 6,1% dari total produksi dunia (Kementan, 2019).

Peningkatan dalam produktivitas kopi di Indonesia masih terbilang rendah. Hal ini dikarenakan pengelolaan petani yang belum cukup baik (belum mengikuti standar *Good Agriculture Practice (GAP)*) yang berefek pada daya saing kopi dan harga yang ditawarkan juga rendah (Kementan, 2019). Beberapa permasalahan yang menjadi kendala pada perkebunan kopi rakyat yang ada di Indonesia adalah teknik budidaya, pengelolaan panen dan pascapanen yang masih kurang baik. Hal ini disebabkan karena sebagian besar petani kopi memiliki keterbatasan modal, pengetahuan yang rendah serta keterampilan yang masih minim dalam pengelolaan kebunnya (Purba, 2013).

Sebagian besar petani kopi di Indonesia melakukan budidaya tanaman kopi dengan sistem agroforestri karena sistem agroforestri dipercaya mempunyai banyak keuntungan. (Supriadi, 2015). Sistem agroforestri berbasis kopi merupakan salah satu sistem yang memiliki tanaman beraneka ragam seperti tanaman kopi, tanaman penabung, dan tumbuhan bawah (Firmansyah, 2023). Masyarakat yang ada di Dusun Tala Tala dan Dusun Bonto Bonto sebagian besar bermata pencaharian petani. Adapun jenis agroforestri yang diterapkan pada lahan kelola masyarakat yaitu dengan sistem agroforestri yakni agroforestri sederhana dan sistem agroforestri kompleks. Agroforestri sederhana merupakan suatu sistem pertanian dimana pepohonan ditanam secara tumpang satu atau lebih jenis tanaman semusim dan agroforestri kompleks merupakan suatu sistem pertanian menetap yang melibatkan banyak jenis tanaman (berbasis pohon) baik yang disengaja maupun yang tumbuh secara alami pada sebidang lahan. Adanya penerapan sistem ini berdampak dalam pendapatan maupun dalam

keuntungan petani (ICRAF, 1996).

Agroforestri merupakan salah satu cara yang tepat untuk dapat dilakukan. Karbon tersimpan dalam sistem agroforestri dapat menjadi salah satu bentuk pengurangan konsentrasi gas rumah kaca (GRK), khususnya penurunan karbondioksida



(CO₂) yang ada di atmosfer. Kemampuan tersebut dipengaruhi oleh jumlah jenis tanam dan jumlah tanaman yang ditanam pada kawasan agroforestri, diameter vegetasi, dan juga sistem pemanenan yang dilakukan (Hairiah, 2007).

Adanya peningkatan emisi karbon di atmosfer dapat menyebabkan perubahan iklim, yang diakibatkan karena adanya pemanasan global atau efek rumah kaca (Rahmadania, 2022). Salah satu kontributor terbesar pemanasan global saat ini adalah karbon dioksida dan gas metana yang dihasilkan dari aktivitas manusia seperti pembakaran sampah, kendaraan bermotor, dan mesin industri yang mengakibatkan gas karbon terakumulasi (Rahman, 2017). Tegakan hutan dipercaya mampu menyimpan karbondioksida dan mengurangi efek pemanasan global. Mekanismenya adalah ketika tumbuhan berfotosintesis, karbon diserap dan disimpan jaringan tumbuhan yang disebut kantong udara atau *carbon pool*. Dalam inventarisasi karbon, *carbon pool* yang diperhitungkan setidaknya ada 4 kantong karbon (Sutaryo, 2009). Keempat kantong karbon tersebut adalah biomassa atas permukaan, biomassa bawah permukaan, bahan organik mati dan karbon organik tanah. Cadangan karbon ini digunakan sebagai sumber energi pohon untuk dijadikan oksigen sebagai sumber kehidupan makhluk hidup lainnya (Hairiah, 2007).

Berdasarkan uraian tersebut, maka perlu dilakukan penelitian mengenai estimasi cadangan karbon pada sistem pertanaman kebun kopi di Kecamatan Tompobulu, Kabupaten Maros.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari cadangan karbon yang ada di atas permukaan tanah pada sistem pertanaman agroforestri berbasis kopi sederhana maupun yang kompleks. Kegunaan penelitian ini yaitu dapat dijadikan sebagai sumber informasi serta referensi oleh masyarakat khususnya para petani kopi saat melakukan proses budidaya tanaman kopi.



2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kopi

Kopi merupakan salah satu tanaman perkebunan yang dapat menunjang perekonomian di Indonesia. Kopi memiliki kontribusi yang besar terhadap ekonomi nasional. Selain dapat meningkatkan pendapatan petani budidaya tanaman kopi juga dapat menciptakan lapangan pekerjaan, sebagai sumber devisa negara dari hasil mengekspor kopi, dapat mendorong kemajuan pada bidang agribisnis dan juga agroteknologi serta dapat menjadi salah satu tanaman yang mendukung konservasi lingkungan. Indonesia memiliki iklim tropis yang sangat sesuai untuk meningkatkan produktivitas tanaman kopi (Awaluddin, 2018).

Kesesuaian iklim yang ada di Indonesia terhadap pertumbuhan tanaman kopi dapat meningkatkan produktivitas tanaman kopi hingga mencapai 50%. Luas areal tanaman kopi di Indonesia mencapai 1.233.982 Ha pada tahun 2012 dimana produktivitas tanaman kopi nasional oleh perkebunan rakyat seluas 1.185.239 Ha atau setara dengan 96,4%, perkebunan besar swasta seluas 26.185 Ha atau 2,12% serta perkebunan besar negara seluas 22.578 Ha atau 1,84% (Awaluddin, 2018).

Klasifikasi tanaman kopi menurut Rahardjo (2012) adalah sebagai berikut :

Kingdom	: Plantae (Tumbuhan)
Subkingdom	: Tracheobionta (Tumbuhan pembuluh)
Super Divisi	: Spermatophyta (Menghasilkan biji)
Divisi	: Magnoliophyta (Tumbuhan berbunga)
Kelas	: Magnoliopsida (Berkeping dua)
Sub Kelas	: Asteridae
Ordo	: Rubiales
Family	: Rubiaceae
Genus	: Coffea
Spesies	: <i>Coffea sp.</i> (<i>Coffea arabica</i> L., <i>Coffea canephora</i> , <i>Coffea liberica</i> , <i>Coffea excels</i>).

Morfologi tanaman kopi terdiri dari akar, batang, daun, buah, dan bunga. Perakaran tanaman yang dimiliki kopi arabika lebih dalam dari pada kopi robusta, oleh karena itu kopi arabika lebih tahan kering dibandingkan dengan kopi robusta (Ellyanti, 2012). Menurut semua spesies kopi berbunga berwarna putih yang beraroma wangi yang ketiak daunnya. Adapun buah kopi tersusun dari kulit buah (*epicarp*), (*mesocarp*), dan kulit tanduk (*endocarp*). Buah kopi memiliki dua biji kopi



yang dibungkus oleh kulit keras yang dibungkus oleh kulit tanduk. Buah yang terbentuk tersebut akan matang dalam jangka waktu kurang lebih 7 – 12 bulan.

Tanaman kopi tergolong kedalam tanaman C3 yang memerlukan intensitas cahaya yang tidak penuh dalam proses fotosintesis. Pertumbuhan tanaman ini dapat berkembang dengan baik jika didukung dengan adanya tanaman naungan (tumbuhan tinggi) yang dimana naungan berfungsi untuk mendapatkan cahaya yang optimal bagi tanaman yang sehingga tanaman tidak mengalami kematian akibat mendapatkan cahaya yang terlalu tinggi. (Manullang, 2021). Secara umum naungan mempengaruhi ketersediaan cadangan karbon. Jumlah cadangan karbon antar lahan dapat berbeda diakibatkan adanya keanekaragaman tanaman, kerapatan tumbuhan, jenis tanah dan cara pengelolaannya. Biomassa sebagai penyimpanan karbon yang ada pada suatu lahan menjadi lebih besar bila kondisi kesuburan tanahnya baik, karena biomassa pohon meningkat (cadangan karbon diatas tanah ditentukan oleh besarnya cadangan karbon di dalam tanah) (Puspa, 2022).

2.2 Agroforestri

Sistem agroforestri merupakan pengoptimalisasian yang tepat untuk dapat dilakukan. Jumlah karbon tersimpan dalam sistem agroforestri merupakan salah satu bentuk upaya penurunan konsentrasi gas rumah kaca, khususnya penurunan karbondioksida (CO₂) di atmosfer. Agroforestri memiliki kemampuan menyerap dan menyimpan karbon lebih besar dibandingkan hutan tanaman. Kemampuan tersebut dipengaruhi oleh jumlah jenis tanam yang ditanam pada kawasan agroforestri, diameter vegetasi, dan juga sistem pemanenan yang dilakukan (Hairiah, 2007).

Sistem pertanaman agroforestri diyakini oleh banyak orang dapat mempertahankan hasil pertanian secara berkelanjutan. Agroforestri memberikan kontribusi yang sangat penting terhadap jasa lingkungan (*environmental services*) antara lain mempertahankan fungsi hutan dalam mendukung DAS (daerah aliran sungai), mengurangi konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer, dan mempertahankan keanekaragaman hayati. Mengingat besarnya peran agroforestri dalam mempertahankan fungsi DAS dan pengurangan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer melalui penyerapan gas CO₂ yang telah ada di atmosfer oleh tanaman dan mengakumulasi dalam bentuk biomassa tanaman, maka agroforestri sering dipakai sebagai salah satu contoh dari “Sistem Pertanian Sehat”. Agroforestri, suatu sistem pertanian yang bertujuan untuk meningkatkan pendapatan petani dan kelestarian alam. Di Indonesia terdapat berbagai macam agroforestri yang di mulai dari bentuk yang sederhana (misalnya budidaya pagar) hingga kompleks



(misalnya hutan karet dan damar di Sumatera). Bila ditinjau dari cadangan C, sistem agroforestri ini lebih menguntungkan daripada sistem pertanian berbasis tanaman semusim. Hal ini disebabkan oleh adanya pepohonan yang memiliki biomassa tinggi dan masukan serasah yang bermacam-macam kualitasnya dan terjadi secara terus menerus (Widianto, 2003).

Sistem agroforestri berbasis kopi merupakan salah satu sistem agroforestri yang memiliki tanaman beraneka ragam seperti tanaman kopi, tanaman penayang, dan tumbuhan bawah. Keanekaragaman tanaman pada sistem agroforestri menunjukkan bahwa adanya manfaat ekologi untuk memperkecil resiko kehilangan tanaman yang beranekaragam sehingga mampu menjaga kelestarian alam. Keanekaragaman tanaman yang ada pada sistem agroforestri berbasis kopi juga mendukung layanan ekosistem seperti jasa penyedia, jasa pengaturan, jasa pendukung, dan jasa kultural. Layanan ekosistem yang ada pada sistem agroforestri menunjukkan bahwa adanya stabilitas dan kompleksitas yang tinggi pada suatu komunitas karena sistem agroforestri berorientasi pada pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan (Firmansyah, 2023).

Masyarakat yang ada di Dusun Tala Tala dan Bonto Bonto sebagian besar bermata pencaharian petani, adapun jenis agroforestri yang diterapkan pada lahan kelola masyarakat yaitu dengan sistem agroforestri. Beberapa sistem yang ditepkan oleh masyarakat adalah sistem agroforestri sederhana dan sistem agroforestri kompleks. Adanya penerapan sistem ini berdampak dalam pendapatan maupun dalam pengoptimalan lahan.

Model agroforestri sederhana adalah perpaduan perpaduan konvensional yang terdiri atas sejumlah kecil unsur, yang menggambarkan apa yang kini dikenali sebagai skema agroforestri klasik. Sistem ini merupakan suatu sistem pertanian yang dimana pepohonan ditanam secara tumpang-sari dengan satu atau lebih jenis tanaman semusim (Triwanto, 2012). Sistem agroforestri kompleks adalah suatu sistem pertanian menetap yang melibatkan banyak jenis tanaman pohon (berbasis pohon) baik sengaja ditanam maupun yang tumbuh secara alami pada sebidang lahan dan dikelola petani mengikuti pola tanam dan ekosistem menyerupai hutan. Di dalam sistem ini, selain terdapat beraneka jenis pohon juga tanaman perdu, tanaman memanjat (liana), tanaman musiman dan rerumputan dalam jumlah banyak. Penciri utama dari sistem agroforestri kompleks ini adalah kenampakan fisik dinamika mirip dengan ekosistem hutan alam (ICRAF, 1996).



2.3 Siklus Karbon

Siklus karbon merupakan unsur yang mengalami daur dalam ekosistem. Dimulai dari karbon yang ada di atmosfer berpindah melalui tumbuhan hijau, konsumen, dan organisme pengurai, kemudian kembali ke atmosfer. Di atmosfer karbon terikat dalam bentuk senyawa karbondioksida (CO_2) (Janzen, 2013). Karbondioksida (CO_2) merupakan gas dengan konsentrasi tertinggi kelima di atmosfer yang mengalami peningkatan sebanyak 35% dalam 300 tahun terakhir. Peningkatan tersebut disebabkan karena aktivitas manusia dari pembakaran bahan bakar fosil, deforestasi, dan perubahan lainnya. Karbondioksida secara alami juga mengalami siklus pertukaran melalui proses fotosintesis dan respirasi pada tumbuhan. Adanya tumbuhan sebagai penyimpan karbon menyebabkan konsentrasi karbondioksida di atmosfer menurun (Arfina, 2020).

Melalui fotosintesis, karbondioksida diserap dan diubah oleh tumbuhan menjadi karbon organik dalam bentuk biomassa. Biomassa merupakan bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintetik, baik berupa produk maupun buangan. Kandungan karbon dalam biomassa yang tersimpan pada suatu biomassa dikenal dengan istilah *carbon storage* atau karbon tersimpan. Sampai waktunya karbon tersebut tersikluskan kembali ke atmosfer, karbon tersebut akan menempati salah satu dari sejumlah kantong karbon. Karbon dapat tersimpan dalam kantong karbon dalam periode yang lama atau sebentar. Karbon tersimpan setidaknya dalam 4 kantong karbon. Keempat kantong karbon tersebut adalah biomassa atas permukaan (pohon), karbon organik tanah, biomassa bawah permukaan, dan bahan organik mati. Dari keempat kantong tersebut hanya satu kantong karbon yang tersimpan di pohon, sedangkan yang lainnya tersimpan di dalam tanah (Edwin, 2016).

Selain melakukan proses fotosintesis untuk merubah karbondioksida (CO_2) menjadi oksigen (O_2), tumbuhan juga melakukan respirasi yang melepaskan CO_2 . Namun proses ini cenderung tidak signifikan karena CO_2 yang dilepas masih dapat diserap kembali pada saat fotosintesis. Pada saat tumbuhan atau satwa hutan mati, akan terjadi proses dekomposisi oleh bakteri dan mikroba yang melepaskan CO_2 ke atmosfer. Di hutan alam akan banyak terjadi mortalitas akibat usia persaingan tempat tumbuh maupun akibat penyebab lain seperti bencana alam dan lain lain. Mortalitas tumbuhan juga secara alami selalu diimbangi dengan proses regenerasi sehingga terjadi on dalam keseimbangan ekologis termasuk keseimbangan dikenal dengan sebutan "*carbon neutral*" (Manuri, 2011).

karbon di alam dapat dijelaskan secara sederhana dengan siklus karbon, siklus biogeokimia yang mencakup pertukaran atau perpindahan karbon



dalam biosfer, pedosfer, geosfer, hidrosfer dan atmosfer bumi. Siklus karbon sesungguhnya suatu proses yang rumit dan setiap proses saling mempengaruhi. Proses penimbunan karbon (C) dalam tubuh tumbuhan hidup dinamakan proses sekuestrasi (*C- sequestration*). Dengan demikian mengukur jumlah C yang disimpan dalam tubuh tanaman hidup (biomassa) pada suatu lahan dapat menggambarkan CO₂ di atmosfer yang diserap oleh tanaman. Sedangkan pengukuran C yang masih tersimpan dalam bagian tumbuhan yang telah mati (nekromassa) secara tidak langsung menggambarkan CO₂ yang tidak dilepaskan ke udara melalui pembakaran (Purnobasuki, 2012).

2.4 Cadangan Karbon

Tanah merupakan penampung karbon terbesar dalam siklus karbon di darat. Tanah merupakan gudang karbon organik (*organic carbon pool/organic carbon reservoir*) yang sangat penting dalam periode jangka panjang pada ekosistem daratan, karena tanah mengakumulasi karbon (C) dalam jumlah lebih besar dari pada jumlah karbon (C) pada biomassa tanaman dan atmosfer. Jumlah karbon yang berada di tanah diperkirakan sebesar 1.100-1.600 miliar ton, dua kali lipat lebih banyak dari pada jumlah karbon yang disimpan dalam tumbuhan hidup (sekitar 560 miliar ton), dan juga jauh lebih banyak dari pada yang terdapat di atmosfer (750 miliar ton) (Arfina, 2020).

Karbon tanah merupakan komponen fundamental dalam siklus global yang mendukung keberlanjutan ekosistem terestrial. C-organik tanah terbentuk melalui beberapa tahapan dekomposisi bahan organik. Status C-organik tanah dipengaruhi oleh berbagai faktor eksternal seperti jenis tanah, curah hujan, suhu, masukan bahan organik dari biomassa tanah, proses antropogenik, kegiatan pengelolaan tanah, kandungan CO₂ di atmosfer. Perubahan status C-organik tanah melalui proses dekomposisi dan mineralisasi bahan organik tanah diketahui memiliki keterkaitan dengan sifat sifat tanah seperti tekstur, pH, kation logam dalam tanah, KTK dan kandungan hara N (Ferrasati, 2019).

Karbon yang terakumulasi di dalam tanah (*Soil Carbon Stock*) dipengaruhi oleh perubahan pada vegetasi dan pertumbuhannya, sisa biomassa melalui pemanenan, dan gangguan mekanis pada tanah (Arfina, 2020). Menurut Susanti (2022) simpanan karbon pada suatu lahan menjadi lebih besar bila kondisi tanahnya baik atau jumlah karbon yang tersimpan di atas tanah (biomassa tanaman) ditentukan oleh besarnya jumlah karbon di tanah.



2.5 Biomassa

Biomassa merupakan total berat atau volume organisme yang ada didalam suatu area atau volume tertentu jumlah materi yang hidup diatas permukaan. Biomassa juga disebut sebagai total jumlah materi hidup di atas permukaan yang ada pada suatu pohon dan dinyatakan dengan satuan ton berat kering per satuan luas (Sutaryo, 2009). Biomassa juga didefinisikan sebagai bahan organik tanaman pada tutupan lahan yang terdiri dari biomassa bagian atas permukaan tanah, baik tanaman hidup maupun mati. Biomassa didapatkan dari hasil proses fotosintesis tanaman baik tanaman alga, pohon, dan tumbuhan lainnya dengan bantuan sinar matahari (Tuah, 2017).

Menurut Sutaryo (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.

- Biomassa atas permukaan adalah semua material hidup di atas permukaan. 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.
- 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.
- 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.
- Karbon organik tanah mencakup karbon pada tanah mineral dan tanah organik termasuk gambut.

2.6 Perhitungan Cadangan Karbon

Karbon dalam pengembangan proyek karbon memerlukan penggunaan proses perhitungan yang solid dan berlandaskan ilmu pengetahuan agar dapat mencapai produktivitas yang optimal. Metode yang digunakan biasanya didasarkan pada



metode survei potensi hutan atau analisis vegetasi yang telah dikembangkan dari waktu ke waktu melalui praktik kehutanan. Namun, beberapa penyesuaian dan penyesuaian diperlukan untuk memperhitungkan peningkatan jumlah parameter. Akibatnya, biaya dan waktu yang dibutuhkan untuk penyelesaiannya akan bertambah. Upaya pendugaan karbon untuk keperluan perdagangan karbon menggunakan mekanisme REDD⁺, perlu diterapkan dengan tingkat keakurasian dan ketepatan yang baik, namun juga perlu mempertimbangkan kompensasi biaya yang ditimbulkan. Inventarisasi karbon juga diharapkan dapat dilakukan secara paralel untuk memperoleh informasi tambahan, seperti potensi tegakan hutan, keanekaragaman hayati, atau data lain yang terkait dengannya (Manuri, 2011).

Biomassa pohon dapat diestimasi dengan persamaan allometrik yang telah dikembangkan oleh peneliti sebelumnya. Untuk menaksir potensi pohon sebagai penyerap dan penyimpan karbon, dibutuhkan penaksiran (estimasi) biomassa pohon. Penggunaan rumus allometrik sederhana yang dapat mewakili berbagai jenis pohon yang tumbuh di hutan alami dari berbagai negara mungkin dapat digunakan untuk mengurangi perusakan hutan selama pengukuran (Hairiah, 2011).

