

CADANGAN KARBON PADA BERBAGAI TIPE TUTUPAN LAHAN DI KALIMANTAN SELATAN



Arfa Agustina Rezekiah, Abdi Fithria
Syam'ani, Yasinta Nur Shiba
Siti Najla



**CADANGAN KARBON
PADA BERBAGAI TIPE
TUTUPAN LAHAN
DI KALIMANTAN SELATAN**

UU No 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan Sifat Hak Cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. Penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000,00 (seratus juta rupiah).
2. Setiap orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).



CADANGAN KARBON PADA BERBAGAI TIPE TUTUPAN LAHAN DI KALIMANTAN SELATAN

Arfa Agustina Rezekiah, Abdi Fithria
Syam' ani, Yasinta Nur Shiba
Siti Najla

Cadangan Karbon pada Berbagai Tipe Tutupan Lahan di Kalimantan Selatan

**Arfa Agustina Rezekiah
Abdi Fithria
Syam'ani
Yasinta Nur Shiba
Siti Najla**

Editor:
Rosidah

Desainer:
Nur Aziza

Sumber:
www.canva.com

Penata Letak:
Gita Agustin

Proofreader:
Tim Mitra Cendekia Media

Ukuran:
xii, 118 hlm, 15,5 x 23 cm

ISBN:
978-623-176-423-2

Cetakan Pertama:
Maret 2024

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini
tanpa izin tertulis dari Penerbit.

Anggota IKAPI: 022/SBA/20

PENERBIT MITRA CENDEKIA MEDIA

Jorong Pale, Nagari Pematang Panjang, Kecamatan Sijunjung
Kabupaten Sijunjung, Sumatra Barat – Indonesia 27554
HP/WA: 0812-7574-0738
Website: www.mitracendekiamedia.com
E-mail: mitracendekiamedia@gmail.com

DAFTAR ISI

PRAKATA	xi
BAB 1 KONSEP DASAR CADANGAN KARBON.....	1
A. Definisi Cadangan Karbon	1
B. Mengapa Cadangan Karbon Penting.....	3
C. Peran Cadangan Karbon dalam Mengatasi Perubahan Iklim	6
BAB 2 PROSES KARBON DI ALAM.....	11
A. Siklus Karbon dalam Ekosistem	11
B. Peran Ekosistem dalam Menyimpan Karbon	15
C. Proses Karbon dalam Hutan, Lahan Basah, dan Lahan lainnya	18
BAB 3 METODE PENGUKURAN CADANGAN KARBON	21
A. Alat dan Teknologi untuk Pengukuran.....	21
B. Metode Pengukuran Lapangan.....	24
BAB 4 ESTIMASI CADANGAN KARBON DALAM HUTAN	35
A. Estimasi Karbon Tersimpan pada Hutan Mangrove	35
B. Estimasi Karbon Tersimpan di Atas Permukaan Tanah pada Lahan Pasca Perladangan Gilir Balik Masyarakat Suku Dayak.....	42



- C. Estimasi Kandungan Karbon pada Ekosistem Ekowisata Bekantan Kawasan Konservasi PT Antang Gunung Meratus 60
- D. Cadangan Karbon pada Taman Hutan Hujan Tropis Indonesia (TH2TI) Kalimantan Selatan 67

BAB 5 STRATEGI PENGELOLAAN

CADANGAN KARBON..... 79

- A. Pemanfaatan Hasil Estimasi Cadangan Karbon.... 79
- B. Prinsip Pengelolaan Karbon dalam Hutan 87
- C. Pengelolaan Konsumsi Energi dan Emisi 92

DAFTAR PUSTAKA..... 97

PROFIL PENULIS 111

PROFIL EDITOR..... 117



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Siklus Karbon Secara Sederhana	12
Gambar 3.1 Bentuk Plot Pengamatan di Kawasan Magrove	25
Gambar 3.2 Bentuk Plot Penelitian Karbon Pada Rawa Gambut	28
Gambar 3.3 Bentuk Plot Pengamatan	31
Gambar 4.1 Perbandingan Jenis Vegetasi Tiap Areal Bekas Perladangan Gilir Balik	47
Gambar 4.2 Total Tersimpan Karbon pada Areal Bekas Perladangan Gilir Balik	57
Gambar 4.3 Estimasi Biomassa Pohon di Kawasan Ekowisata Bekantan PT AGM	65
Gambar 4.4 Estimasi Biomassa Serasah di Kawasan Ekowisata Bekantan PT AGM	66
Gambar 4.5 Peta Tutupan Lahan Lokasi TH2TI Kalimantan Selatan	69
Gambar 5.1 Sistem Agroforestri	91





DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Persamaan Allometrik Pengukuran Biomassa Mangrove	26
Tabel 3.2 Persamaan Allometrik	32
Tabel 4.1 Kerapatan Mangrove pada Ekowisata Mangrove Pagatan Besar	37
Tabel 4.2 Diameter dan Luas Bidang Dasar Vegetasi pada setiap Areal Bekas Perladangan.....	50
Tabel 4.3 Perhitungan Estimasi Karbon di Atas Permukaan Tanah	52
Tabel 4.4 Vegetasi di Kawasan Ekowisata Bekantan PT AGM.....	61
Tabel 4.5 Luas Kawasan Ekowisata Bekantan Berdasarkan Kelas Kerapatan Tegakan.....	64
Tabel 4.6 Indeks Nilai Penting Tingkat Tiang	70
Tabel 4.7 Indeks Nilai Penting Tingkat Pohon.....	70
Tabel 4.8 Indeks Keragaman Tingkat Tiang	70
Tabel 4.9 Indeks Keragaman Tingkat Pohon	71
Tabel 4.10 Hasil Biomassa dan Cadangan Karbon di TH2TI.....	73





PRAKATA

Sangatlah membanggakan bagi kami untuk mempersembahkan buku ini, "*Cadangan Karbon pada Berbagai Tipe Tutupan Lahan di Kalimantan Selatan*", yang merupakan hasil dari upaya kolaboratif dan penelitian yang mendalam. Buku ini merupakan suatu karya yang kami harapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pemahaman kita tentang pentingnya konservasi lingkungan, khususnya dalam konteks penanganan emisi gas rumah kaca.

Sebagai salah satu wilayah yang kaya akan keanekaragaman hayati dan sumber daya alam, Kalimantan Selatan memiliki peran penting dalam pelestarian ekosistem global. Namun, dengan tantangan perubahan iklim yang semakin nyata, pemahaman terhadap seberapa besar tutupan lahan di daerah ini menyimpan cadangan karbon menjadi sangat relevan.

Melalui buku ini, kami berusaha menyajikan penjelasan yang komprehensif tentang berbagai tipe tutupan lahan di Kalimantan Selatan dan potensi cadangan karbon yang terkandung di dalamnya. Dengan demikian, kami berharap buku ini dapat menjadi panduan yang berharga bagi para ilmuwan, praktisi, dan pengambil kebijakan dalam upaya menjaga keberlanjutan lingkungan.



Penulis ingin mengucapkan terima kasih semua yang telah berkontribusi dalam penyusunan buku ini, baik melalui penelitian, pengalaman lapangan, maupun ide-ide konstruktif. Semua itu telah menjadi fondasi yang kuat untuk menyajikan informasi yang relevan dan terkini dalam upaya memahami serta mengoptimalkan cadangan karbon pada berbagai tipe tutupan lahan.

Semoga buku ini dapat memberikan wawasan baru dan memicu langkah-langkah konkret untuk melestarikan kekayaan alam yang kita miliki. Semoga buku ini dapat menjadi panduan dan referensi yang bermanfaat, tidak hanya bagi para peneliti dan akademisi, tetapi juga bagi praktisi, pengambil kebijakan, dan semua pihak yang peduli terhadap keberlanjutan lingkungan. Dengan pengetahuan yang diperoleh, kita bersama-sama dapat berkontribusi dalam menjaga keseimbangan ekosistem dan melindungi planet ini untuk generasi mendatang.

Banjarbaru, Januari 2024

Hormat kami,

Penulis





BAB 1

KONSEP DASAR CADANGAN KARBON

A. Definisi Cadangan Karbon

Hutan merupakan salah satu sumber daya alam yang dapat menyerap banyak karbon dioksida yang ada di atmosfer merupakan hasil dari fotosintesis, di mana karbon dioksida (CO_2) di atmosfer yang diikat dan diubah menjadi sebuah bentuk energi (gugus gula) yang bermanfaat bagi banyak kehidupan. Energi ini banyak diserap dan disimpan oleh tumbuhan dalam bentuk biomassa (Purwitasari, 2011).

Karbon memiliki lambang “C” dengan nilai atom sebesar 12. Karbon juga merupakan salah satu unsur utama pembentuk bahan organik termasuk makhluk hidup. Hampir setengah dari organisme hidup merupakan karbon. Karenanya secara alami karbon banyak tersimpan di bumi (darat dan laut) dari pada di atmosfer. Karbon tersimpan dalam daratan bumi dalam bentuk makhluk hidup



(tumbuhan dan hewan), bahan organik mati ataupun sedimen seperti fosil tumbuhan dan hewan. Sebagian besar jumlah karbon yang berasal dari makhluk hidup bersumber dari hutan. Seiring terjadinya kerusakan hutan, maka pelepasan karbon ke atmosfer juga terjadi sebanyak tingkat kerusakan hutan yang terjadi (Manuri Solichin et, al, 2011).

Karbon merupakan salah satu unsur yang mengalami daur dalam ekosistem. Dimulai dari karbon yang berada di atmosfer berpindah melalui tumbuhan hijau (produsen), konsumen dan organisme pengurai, kemudian kembali ke atmosfer., di atmosfer karbon terbentuk dalam bentuk senyawa karbon dioksida (CO_2) (Indrayanto, 2006). Hutan menyimpan karbon yang berpindah secara dinamis di antara tempat-tempat penyimpanan tersebut sepanjang waktu. Penggundulan hutan akan mengubah keseimbangan karbon dengan meningkatkan jumlah karbon yang berada di atmosfer dan mengurangi karbon yang tersimpan di hutan (Sutaryo, 2009).

Sumber karbon (karbon pool) dikelompokkan menjadi 3 kategori utama, yaitu biomassa hidup, bahan organik mati dan karbon tanah IPCC (2006). Biomassa merupakan keseluruhan materi yang berasal dari makhluk hidup maupun mati, baik di atas maupun di bawah permukaan tanah. Biomassa merupakan hasil dari fotosintesis di mana energi yang terserap digunakan untuk mengonversi karbon dioksida (CO_2) dengan air menjadi



senyawa karbon, hidrogen dan oksigen. Biomassa juga didefinisikan sebagai total jumlah materi yang hidup di atas permukaan pada suatu pohon dan dinyatakan dalam suatu ton berat kering dalam satu per satuan luas (Brown, 1997).

B. Mengapa Cadangan Karbon Penting

Karbon dioksida (CO_2) merupakan GRK yang paling utama di sektor kehutanan dan perubahan lahan. Hutan mengandung karbon yang cadangan karbonnya tersimpan pada vegetasi yaitu pada batang, tajuk dan akar, biomassa lain dan di dalam tanah. Upaya pengurangan konsentrasi GRK di atmosfer (emisi) adalah dengan mengurangi pelepasan CO_2 ke udara. Untuk itu, maka jumlah CO_2 di udara harus dikendalikan dengan jalan meningkatkan jumlah serapan CO_2 oleh tanaman sebanyak mungkin dan menekan pelepasan GRK serendah mungkin. Jadi, mempertahankan keutuhan hutan alami, menanam pohon dan melindungi lahan gambut sangat penting untuk mengurangi jumlah CO_2 di udara.

Jumlah cadangan karbon tersimpan ini perlu diukur sebagai upaya untuk mengetahui besarnya cadangan karbon pada saat tertentu dan perubahannya apabila terjadi kegiatan yang menambah atau mengurangi besar cadangan. Dengan mengukur, dapat diketahui berapa hasil perolehan cadangan karbon yang terserap dan dapat dilakukan sebagai dasar jual beli cadangan karbon. Di mana negara maju



atau industri mempunyai kewajiban untuk memberi kompensasi kepada negara atau siapa pun yang dapat mengurangi emisi atau meningkatkan serapan (Wibowo Ari et, al, 2013).

Akumulasi gas rumah kaca akibat perubahan tutupan lahan dan kehutanan diperkirakan sebesar 20% dari total emisi global yang berkontribusi terhadap pemanasan global dan perubahan iklim. Hal ini menegaskan bahwa upaya mitigasi perubahan iklim perlu melibatkan sektor perubahan tutupan lahan dan kehutanan. Mengingat hutan berperan sangat penting tidak hanya sebagai penyimpan karbon, tetapi secara alami juga berfungsi sebagai penyerap karbon yang paling efisien di bumi sekaligus menjadi sumber emisi gas rumah kaca pada saat tidak dikelola dengan baik (Manuri Solichin et, al, 2011).

Unsur karbon menjadi penting dalam kehidupan manusia, dalam keseharian setiap kali proses pernapasan, manusia menyumbang pelepasan karbon di alam dalam bentuk karbon dioksida (CO_2), penebangan pohon, pembakaran, aktivitas industri dan kendaraan bermotor juga menyumbang pelepasan karbon di alam. Pemberi kontribusi utama dalam dekade terakhir ini berasal dari pembakaran bahan bakar fosil meliputi minyak pelumas, gas dan bahan bakar untuk kendaraan bermotor, industri dan kekuatan tanaman. Kontribusi dari sektor tersebut diperkirakan sekitar 65% dari total emisi di seluruh dunia. Selain itu,



14% berasal dari aktivitas pertanian, 18% kerusakan hutan, aktivitas domestik dan penguraian sampah.

Sebagian karbon dalam bentuk CO₂ dimanfaatkan tumbuhan untuk proses fotosintesis, sebagian lainnya ada dalam bentuk gas di atmosfer yang jika jumlahnya terlalu banyak akan merugikan kehidupan organisme. Untuk itu penambatan dan juga penyimpanan karbon oleh alam dalam hal ini tumbuhan menjadi sangat penting. Salah satu akibat kelebihan jumlah karbon di atmosfer adalah terganggunya keseimbangan energi antara bumi dan atmosfer, sehingga memicu terjadinya perubahan iklim global. Terjadinya peningkatan unsur karbon dalam bentuk gas-gas asam arang (CO₂), gas buang knalpot (CO), metana (CH₄) serta gas rumah kaca dalam jumlah yang mengkhawatirkan telah memicu pemanasan global (Purnobasuki Hery, 2012).

Tekanan manusia terhadap sumber daya hutan, menyebabkan deforestasi dan degradasi terhadap hutan yang ada. Penurunan jumlah dan kualitas hutan tidak hanya menyebabkan berkurangnya jumlah karbon yang tersimpan, tetapi juga menyebabkan pelepasan emisi karbon ke atmosfer serta mengurangi kemampuan hutan dalam menyerap karbon. Karenanya hutan berperan penting di dalam upaya mitigasi perubahan iklim, melalui penyerapan CO₂ menjadi pertumbuhan riap pohon (Manuri Solichin et, al, 2011).



C. Peran Cadangan Karbon dalam Mengatasi Perubahan Iklim

Cadangan karbon sangat relevan dengan isu perubahan iklim. Biomassa hutan berperan penting dalam siklus biogeokimia terutama dalam siklus karbon. Dari keseluruhan karbon hutan, sekitar 50% di antaranya tersimpan dalam vegetasi hutan. Sebagai konsekuensi, jika terjadi kerusakan hutan, kebakaran, pembalakan, dan sebagainya akan menambah jumlah karbon di atmosfer.

Karbon tersimpan dalam daratan bumi dalam bentuk makhluk hidup (tumbuhan dan hewan), bahan organik mati ataupun sedimen seperti fosil tumbuhan dan hewan. Sebagian besar jumlah karbon yang berasal dari makhluk hidup bersumber dari hutan. Seiring terjadinya kerusakan hutan, maka pelepasan karbon ke atmosfer juga terjadi sebanyak tingkat kerusakan hutan yang terjadi. Akumulasi gas rumah kaca akibat perubahan tutupan lahan dan kehutanan diperkirakan sebesar 20% dari total emisi global yang berkontribusi terhadap pemanasan global dan perubahan iklim. Hal ini menegaskan bahwa upaya mitigasi perubahan iklim perlu melibatkan sektor perubahan tutupan lahan dan kehutanan. Mengingat hutan berperan sangat penting tidak hanya sebagai penyimpan karbon, tetapi secara alami juga berfungsi sebagai penyerap karbon yang paling efisien di bumi sekaligus menjadi sumber emisi gas rumah kaca pada saat tidak dikelola dengan baik (Manuri



Solichin et, al, 2011).

Secara ekologi, perubahan iklim adalah satu isu yang sangat penting terkait dengan kelangsungan hidup organisme di muka bumi ini. Isu perubahan iklim berhubungan dengan meningkatnya suhu atmosfer yang disebabkan oleh “efek rumah kaca” yang terjadi karena meningkatnya gas-gas rumah kaca. Salah satu gas yang menyebabkan hal itu adalah karbon dioksida (CO₂). Suhu rata-rata permukaan bumi selama satu abad yang lalu telah meningkat sebesar 1,3 0 F (IPCC, 2007). Jika kita kaitkan peningkatan CO₂ dengan kemampuan tanaman berklorofil maka dalam proses fotosintesis, tanaman membutuhkan energi cahaya, air, dan 3 CO₂ untuk membentuk karbohidrat.

Berbagai usaha mitigasi perubahan iklim telah dilakukan antara lain di bidang lahan adalah agar dapat mempertahankan laju konversi lahan bervegetasi menjadi penggunaan lain, peran vegetasi menjadi penyerap CO₂ menjadi bagian penting saat ini dalam rangka mengatasi pemanasan global. Karbon yang diserap oleh tanaman disimpan dalam bentuk biomassa kayu, sehingga cara yang paling mudah untuk meningkatkan cadangan karbon adalah dengan menanam dan memelihara pohon serta mempertahankan lahan agar tetap bervegetasi (Azham Zikri, 2015). Sektor kehutanan dan lahan mempunyai kontribusi yang sangat besar terhadap emisi gas rumah



kaca di Indonesia. Emisi gas rumah kaca dari sektor kehutanan itu terkait dengan proses deforestasi dan degradasi hutan yang disertai dengan kebakaran hutan. Indonesia merupakan salah satu negara dengan laju deforestasi tertinggi di dunia (Kusumawardani, 2009).

Dengan demikian terjadi penyerapan karbon dari udara dan terakumulasi dalam tubuh tanaman dalam bentuk batang, cabang, ranting, daun, bunga, buah dan akar dan tanah. Proses ini biasanya dikenal dengan istilah Karbon *Sequestration* (EPA, 2008; Jana et al, 2009) Jadi, tanaman bisa berfungsi sebagai penyerap karbon, sehingga jika kita melakukan penambahan jumlah tanaman akan meningkatkan penyerapan karbon atau pengurangan jumlah karbon di atmosfer. Karena itu, maka upaya pengurangan jumlah karbon, salah satunya dapat dilakukan dengan peningkatan populasi tanaman. Namun demikian, untuk memastikan berapa jumlah karbon tersimpan di atas maupun di bawah permukaan tanah, baik dalam skala jenis maupun skala kawasan perlu dilakukan kajian untuk memperoleh model pendugaan yang hasilnya dapat digunakan untuk berbagai tujuan.

Terkait dengan perubahan iklim untuk mengurangi dampak perubahan iklim, perlu dilakukan upaya-upaya untuk meningkatkan penyerapan karbon dan menurunkan emisi karbon ke udara. Penurunan emisi karbon dapat dilakukan dengan: (a) mempertahankan cadangan karbon



yang telah ada dengan: mengelola hutan dengan baik, mengendalikan deforestasi, menerapkan praktik silvikultur yang baik, mencegah degradasi hutan dan lahan gambut, serta memperbaiki pengelolaan cadangan bahan organik tanah, (b) meningkatkan cadangan karbon melalui penanaman tanaman berkayu dan (c) mengganti bahan bakar fosil dengan bahan bakar yang dapat diperbarui secara langsung maupun tidak langsung, radiasi matahari, atau aktivitas panas bumi.

Pengendalian konsentrasi karbon yaitu dengan penanaman jenis tanaman berkayu yang mudah tumbuh pada lahan yang kosong dapat mengendalikan konsentrasi karbon yang berlebihan di atmosfer bumi. Tanaman berkayu dapat menyerap karbon dalam bentuk biomassa kayu yang tersebar pada tegakan, 51% biomassa kayu tersimpan pada bagian batang, sisanya cabang atau ranting sebesar 27% kemudian akar sebesar 16% dan bagian daun sebesar 0,05% (Yamani. 2013), ditambah lagi pernyataan dari Arief (2005) bahwa kurang lebih 90% biomassa berbentuk batang, dahan, daun, akar dan serasah, hewan, dan jasad renik.

Setiap tegakan hutan memiliki serapan karbon yang berbeda. Karbon tersebut dipengaruhi oleh kerapatan tegakan, umur tegakan, jumlah tegakan dalam suatu strata dan faktor lingkungan tempat tegakan tersebut hidup. Sesuai dengan pernyataan Nowak dan Crane (2002)



Beragamnya variasi karbon yang tersimpan dipengaruhi oleh jumlah tegakan, penyusun tegakan serta luasan tempat areal tersebut tumbuh. Karena semakin besar jumlah tegakan pada suatu areal serta kerapatan tegakan tinggi maka nilai biomassa dan karbon pada areal tersebut memiliki nilai yang tinggi juga dibandingkan dengan suatu areal dengan tegakan yang lebih sedikit dengan kerapatan tegakan yang lebih rendah memiliki hasil potensi dan biomassa yang kecil juga, disisi lain besarnya nilai diameter batang dipengaruhi oleh struktur dan komposisi vegetasi tersebut.





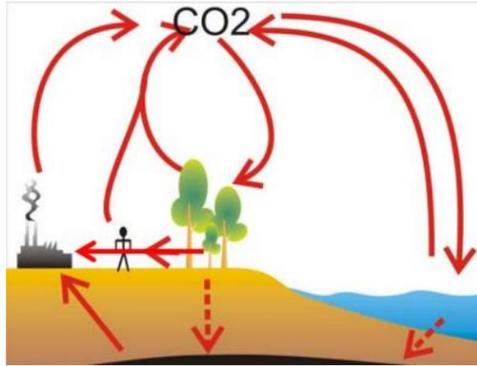
BAB 2

PROSES KARBON DI ALAM

A. Siklus Karbon dalam Ekosistem

Dinamika karbon di alam dapat dijelaskan secara sederhana dengan siklus karbon. Siklus karbon adalah siklus biogeokimia yang mencakup pertukaran/perpindahan karbon di antara biosfer, pedosfer, geosfer, hidrosfer dan atmosfer bumi. Siklus karbon sesungguhnya merupakan suatu proses yang rumit dan setiap proses saling mempengaruhi proses lainnya. 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 (aktif karbon pool) (Sutaryo Dandun et, al, 2009).





Gambar 1. Siklus karbon (Sutaryo, 2009)

Gambar 2.1 Siklus Karbon Secara Sederhana
Sumber: Sutaryo, 2009

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 (CO_2) menjadi oksigen (O_2), 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 fotosintesa.

Pada saat tumbuhan atau satwa hutan mati, akan terjadi proses dekomposisi oleh bakteri dan mikroba yang juga melepaskan CO_2 ke atmosfer. Di hutan alam akan banyak terjadi mortalitas akibat usia, persaingan tempat tumbuh maupun akibat penyebab lain seperti hama, penyakit maupun bencana alam. Mortalitas 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. Dan pada kenyataannya, pelepasan emisi antropogenik tersebut tidak dapat diimbangi oleh laju penyerapan karbon oleh hutan. Sehingga luas dan kualitas hutan semakin menyusut (Manuri Solichin et, al, 2011).

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. Simpanan karbon lain yang penting adalah deposit bahan bakar fosil. Simpanan karbon ini tersimpan jauh di dalam perut bumi dan secara alami terpisah dari siklus karbon di atmosfer, kecuali jika simpanan tersebut di ambil dan dilepaskan ke atmosfer ketika bahan-bahan tersebut dibakar. Semua pelepasan karbon dari simpanan ini akan menambah karbon yang berada di kantong karbon aktif (aktif karbon pool). Apa yang terjadi saat ini selain kerusakan hutan, adalah begitu tingginya laju pembakaran bahan bakar fosil sehingga jumlah karbon yang berada di atmosfer meningkat dengan pesat. Tumbuhan akan mengurangi karbon di atmosfer



(CO₂) melalui proses fotosintesis dan menyimpannya dalam jaringan tumbuhan. Sampai waktunya karbon tersebut ter sikluskan kembali ke atmosfer, karbon tersebut akan menempati salah satu dari sejumlah kantong karbon (Sutaryo Dandun et, al, 2009).

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 karbon pool ini mewakili jumlah karbon yang terserap dari atmosfer. Dalam inventarisasi karbon hutan, karbon 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 (Sutaryo Dandun et, al, 2009).

1. 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.

2. 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.
3. 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.
4. Karbon organik tanah mencakup karbon pada tanah mineral dan tanah organik termasuk gambut (Sutaryo Dandun et, al, 2009).

B. Peran Ekosistem dalam Menyimpan Karbon

Hutan menyimpan 50% dari total karbon yang terdapat di permukaan bumi (Houghton, 2001). Dari data tersebut



membuktikan hutan mempunyai peranan kunci dalam siklus karbon secara global, dengan demikian keseimbangan karbon di permukaan bumi harus dijaga dengan mengontrol aktivitas semua sektor yang mengubah kondisi lingkungan global. Salah satu cara untuk mengetahui perubahan keseimbangan karbon di permukaan bumi adalah dengan menghitung jumlah karbon dalam ekosistem. Jumlah karbon yang tersimpan dalam ekosistem dikelompokkan dalam tiga bagian yaitu atmosfer, makhluk hidup, dan tanah. Produktivitas karbon dari ketiga kelompok tersebut dipengaruhi oleh ekofisiologi dan kondisi lingkungan. Oleh sebab itu, setiap tipe ekosistem misalnya hutan, padang rumput, laut dan sebagainya mempunyai karakteristik pola penyimpanan karbon yang beragam dan berbeda-beda secara dramatis pada skala lokal dan regional. Kemudian dinamika perubahan jumlah karbon dalam setiap ekosistem dipengaruhi oleh jumlah dan jenis tumbuhan dan hewan yang pertumbuhan dan kelestariannya dikontrol oleh kondisi lingkungan misalnya sinar matahari, temperatur dan sebagainya (Ogle et, al, 2003 dalam Tambunan Parlindungan, 2009).

Penyimpanan karbon hutan melalui proses penyerapan CO₂ dari atmosfer oleh tumbuh-tumbuhan melalui fotosintesis dan disimpan sebagai karbon dalam biomassa (batang, cabang, daun, akar dan tanah). Istilah penyerapan dipakai untuk hutan, lahan pertanian, lahan



pengembalaan, padang rumput dan lahan semak belukar sebagai penyimpan karbon. Kemudian karbon yang tersimpan tersebut diemisikan kembali melalui aktivitas manusia, misalnya pemanenan hasil hutan dan pertanian, pembakaran lahan dan lain-lain. Menurut laporan IPCC (2000) setiap tahun sekitar 20% dari global emisi CO₂ berasal dari aktivitas di sektor kehutanan. Oleh sebab itu perubahan-perubahan karbon bumi sangat mempengaruhi perubahan keseimbangan di atmosfer, dan perlu dikontrol dan dihitung setiap saat (Tambunan Parlindungan, 2009).

Hutan juga melepaskan CO₂ ke udara lewat respirasi dan dekomposisi (pelapukan) seresah, namun pelepasannya terjadi secara bertahap, tidak sebesar bila ada pembakaran yang melepaskan CO₂ sekaligus dalam jumlah yang besar. Bila hutan diubah fungsinya menjadi lahan-lahan pertanian atau perkebunan atau ladang pengembalaan atau tambak maka karbon tersimpan akan terus berkurang. Salah satu akibat kelebihan jumlah karbon di atmosfer adalah terganggunya keseimbangan energi antara bumi dan atmosfer, sehingga memicu terjadinya perubahan iklim global. Terjadinya peningkatan unsur karbon dalam bentuk gas-gas asam arang (CO₂), gas buang knalpot (CO), metana (CH₄) serta gas rumah kaca dalam jumlah yang mengkhawatirkan telah memicu pemanasan global (Purnobasuki Hery, 2012).



C. Proses Karbon dalam Hutan, Lahan Basah, dan Lahan Lainnya

Menurut ilmuwan, hutan dapat menyerap karbon karena hutan adalah tempat sekumpulan pohon yang memiliki aktivitas biologisnya seperti fotosintesis dan respirasi. Dalam fotosintesis pohon (tanaman) menyerap CO₂ dan H₂O dibantu dengan sinar matahari diubah menjadi glukosa yang merupakan sumber energi (sebelumnya diubah dulu melalui proses respirasi) tanaman tersebut dan juga menghasilkan H₂O dan O₂ yang merupakan suatu unsur yang dibutuhkan oleh organisme untuk melangsungkan kehidupan (bernapas). Sehingga, hanya dengan mengetahui dan memahami hal tersebut kita harus sadar bahwa hutan sangat dibutuhkan manusia untuk menyerap karbon yang berlebih dalam atmosfer (Purnobasuki Hery, 2012).

Proses penimbunan karbon (C) dalam tubuh tumbuhan hidup dinamakan proses sekuestrasi (*C-sequestration*). Tumbuhan akan mengurangi karbon di atmosfer melalui proses fotosintesis dan menyimpannya dalam jaringan tumbuhan. Semua komponen penyusun vegetasi baik pohon, semak, liana, dan epifit merupakan bagian dari biomassa atas permukaan tanah. Di bawah permukaan tanah, akar tumbuhan juga menyimpan karbon selain tanah itu sendiri. Pada tanah gambut, jumlah simpanan karbon mungkin lebih besar dibandingkan simpanan karbon yang ada di atas permukaan. Karbon juga



3 tersimpan pada bahan organik mati dan produk-produk berbasis biomassa seperti kayu baik ketika masih di permukaan maupun sudah berada di tempat penimbunan (Purnobasuki Hery, 2012).

Ekosistem lahan basah mempunyai peran penting sebagai penyerap dan penyimpan karbon, baik dari atmosfer melalui proses fotosintesis yang disimpan dalam bentuk biomassa pohon, maupun melalui akumulasi sedimentasi dari bagian hulu daerah aliran sungai (Mitsch et al, 2013; Rochmayanto, Darusman, & Rusolono, 2013; Sang, Lamb, Bonner, & Schmidt, 2013 Dalam Siahaan Hengki, & Sumadi Agus, 2017). Pada sisi lain, lahan basah terutama lahan gambut dapat menjadi sumber emisi yang besar jika tidak dikelola dengan baik. Di Sumatera Selatan, degradasi lahan rawa dan gambut merupakan sumber emisi yang cukup signifikan (Krisnawati, 2010 Dalam Siahaan Hengki, & Sumadi Agus, 2017). Emisi akibat perubahan lahan dan degradasi gambut di kawasan ini mencapai 50,8 juta ton CO₂eq/tahun (Krisnawati, 2010). Emisi ini berasal dari perubahan penggunaan lahan dari tutupan hutan menjadi non hutan, drainase lahan gambut dan kebakaran hutan dan lahan.

Demikian halnya dengan keberadaan hutan mangrove sebagai penyerap karbon, Proses fotosintesis mengubah karbon anorganik (CO₂) menjadi karbon organik dalam bentuk bahan vegetasi. Pada sebagian besar



ekosistem, bahan ini membusuk dan melepaskan karbon kembali ke atmosfer sebagai (CO_2). Akan tetapi hutan mangrove justru mengandung sejumlah besar bahan organik yang tidak membusuk. Karena itu, hutan mangrove lebih berfungsi sebagai penyerap karbon dibandingkan dengan sumber karbon. Tumbuhan mangrove memiliki banyak daun sehingga lebih berpotensi menyerap karbon lebih banyak dari tumbuhan lain. Sedangkan pelepasan emisi ke udara pada hutan mangrove lebih kecil daripada hutan di daratan, hal ini karena pembusukan serasah tanaman akuatis tidak melepaskan karbon ke udara. Adapun tanaman hutan tropis yang mati melepaskan sekitar 50 persen karbonnya ke udara. Dengan kemampuan mangrove dalam menyimpan karbon, maka peningkatan emisi karbon di alam tentu dapat lebih dikurangi.





BAB 3

METODE PENGUKURAN CADANGAN KARBON

A. Alat dan Teknologi untuk Pengukuran

Terdapat 4 cara utama untuk menghitung biomassa yaitu sampling dengan pemanenan (destruktif sampling) secara in situ, sampling tanpa pemanenan (Nondestruktif sampling) dengan data pendataan hutan secara in situ, pendugaan melalui pengindraan jauh dan pembuatan model.

Sampling dengan pemanenan metode ini dilaksanakan dengan memanen seluruh bagian tumbuhan termasuk akarnya, mengeringkannya dan menimbang berat biomasanya. Meskipun metode ini terhitung akurat untuk menghitung biomassa pada cakupan area kecil, metode ini terhitung mahal dan sangat memakan waktu. Sampling tanpa pemanenan metode ini merupakan cara sampling dengan melakukan pengukuran tanpa melakukan pemanenan. Metode ini antara lain dilakukan dengan



mengukur tinggi atau diameter pohon dan menggunakan persamaan alometrik untuk mengekstrapolasi biomassa.

Penggunaan teknologi pengindraan jauh umumnya tidak dianjurkan terutama untuk proyek-proyek dengan skala kecil. Kendala yang umumnya adalah karena teknologi ini relatif mahal dan secara teknis membutuhkan keahlian tertentu yang mungkin tidak dimiliki oleh pelaksana proyek. Metode ini juga kurang efektif pada daerah aliran sungai, pedesaan atau wanatani (agroforestri) yang berupa mosaik dari berbagai penggunaan lahan dengan persil berukuran kecil (beberapa ha saja). Hasil pengindraan jauh dengan resolusi sedang mungkin sangat bermanfaat untuk membagi area proyek menjadi kelas-kelas vegetasi yang relatif homogen. Hasil pembagian kelas ini menjadi panduan untuk proses survei dan pengambilan data lapangan. Untuk mendapatkan estimasi biomassa dengan tingkat keakuratan yang baik memerlukan hasil pengindraan jauh dengan resolusi yang tinggi, tetapi hal ini akan menjadi metode alternatif dengan biaya yang besar.

Pembuatan model digunakan untuk menghitung estimasi biomassa dengan frekuensi dan intensitas pengamatan in situ atau pengindraan jauh yang terbatas. Umumnya, model empiris ini didasarkan pada jaringan dari sampel plot yang diukur berulang, yang mempunyai estimasi biomassa yang sudah menyatu atau melalui persamaan alometrik yang mengonversi volume menjadi



biomassa (Australian Greenhouse Office, 1999 dalam Sutaryo Dandun et, al, 2009).

Sedangkan untuk mengestimasi nilai dari biomassa pohon di atas permukaan terdapat dua pendekatan. Dua pendekatan tersebut adalah pendekatan langsung dengan membuat persamaan alometrik dan pendekatan tidak langsung dengan menggunakan “*biomass expansion factor*”. Meskipun terdapat keuntungan dan kekurangan dari masing-masing pendekatan, tetapi harus diperhatikan bahwa pendekatan tidak langsung didasarkan pada faktor yang dikembangkan pada tingkat tegakan dari hutan dengan kanopi yang tertutup (rapat) dan tidak dapat digunakan untuk membuat estimasi dari pohon secara individu (IPCC, 2003 dalam Sutaryo Dandun et, al, 2009))

Adapun alat yang dapat digunakan untuk pengukuran cadangan karbon pada berbagai metode pengukuran yaitu:

1. *Global Positioning System* atau *GPS* untuk penentuan titik lokasi;
2. Peta lokasi penelitian;
3. Pita ukur untuk mengukur diameter pohon;
4. *Hagameter* atau *clinometer* untuk mengukur tinggi pohon;
5. Parang untuk memangkas sampel tumbuhan bawah;
6. Amplop untuk wadah sampel;
7. Tali untuk membuat plot penelitian;



8. *Tallysheet* untuk mencatat data di lapangan;
9. *Oven* untuk mengeringkan sampel;
10. Timbangan digital untuk menimbang sampel;
11. Alat tulis untuk menulis;
12. Laptop untuk membuat hasil penelitian dan pengolahan data;
13. Kamera untuk dokumentasi selama penelitian.

B. Metode Pengukuran Lapangan

Pengukuran cadangan karbon dengan kondisi hutan yang berbeda memiliki metode yang berbeda juga, berikut metode pengukuran di lapangan untuk lahan hutan mangrove, lahan hutan rawa gambut, dan lahan hutan pegunungan.

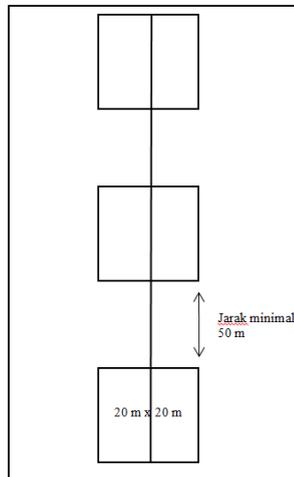
1. Hutan Mangrove

a. Pembuatan Plot

Pengumpulan data mangrove berupa inventaris diameter batang, struktur komposisi dan karakteristik spesies vegetasi yang diambil pada satu stasiun terdapat tiga plot pengamatan jumlah stasiun ditentukan tergantung pada lokasi pengamatan. Pengambilan data dilakukan pada transek kuadrat berukuran 20 x 20 m dengan jarak antar plot adalah 50 – 100 m yang dapat dilihat pada Gambar 3.1 Metode pengumpulan data mangrove ini dilakukan dengan mengestimasi



kandungan karbon pada pohon tanpa merusak pohon (*non destructive test*) dan seresah dengan ukuran 0,5 m x 0,5 m. Setiap vegetasi mangrove yang ada di dalam setiap transek kuadrat dicatat jumlah, jenis vegetasi dan diukur diameter batang setinggi dada atau $\pm 1,3$ m dari permukaan tanah DBH (diameter batang pohon), pengukuran dilakukan hanya pada DBH pohon dengan diameter > 5 cm (Dharmawan, 2020).



Gambar 3.1 Bentuk Plot Pengamatan di Kawasan Mangrove

b. Pengolahan Data

Pengukuran biomassa pohon dilakukan dengan menggunakan data diameter batang mangrove dengan persamaan alometrik, persamaan tersebut digunakan untuk menentukan biomassa pohon



mangrove pada masing-masing jenis spesies yang dapat dilihat pada Tabel 3.1 dengan persamaan sebagai berikut:

Tabel 3.1 Persamaan Allometrik Pengukuran Biomassa Mangrove

Jenis Species	Model Allometrik	Sumber
<i>Rhizophora mucronata</i>	$B = 0,1466 (D)^{2,3136}$	(Nedhisa dan Tjahjaningrum, 2019)
<i>Sonneratia alba</i>	$B = 0,3841 (D)^{2,101}$	(Kauffmann dan Donato, 2012)
<i>Avicennia alba</i>	$B = 0,079211 (D)^{2,470895}$	(Sutaryo, 2009)
<i>Nypah fruticans</i>	$B = 0,094681 (D)^{1,834}$	(Etigle, 2021)

Keterangan :

B = Biomassa pohon mangrove (kg)

ρ = Massa jenis kayu (gr/m³)

D = DBH = $K \pi$ (cm)

K = Keliling batang pohon (cm)

Nilai dari besaran biomassa dari serasah dan tumbuhan bawah dapat menggunakan rumus (Badan Standarisasi Nasional, 2011), sebagai berikut:

$$\text{Total Biomassa (g)} = \frac{BK \text{ Sampel}}{BB \text{ Sampel}} \times \text{Total BB (g)}$$

Keterangan:

BK = Berat kering sampel (gram)

BB = Berat basah sampel (gram)



Rumus perhitungan cadangan karbon dapat dihitung setelah mengetahui besaran biomassa, yaitu dengan mengonversi nilai 47% dari nilai biomassa tumbuhan. Menurut BSN (2011), menyatakan rumus perhitungan cadangan karbon sebagai berikut:

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

Keterangan:

C = kandungan karbon (kg)

B = Biomassa tumbuhan (kg)

0,47 = besaran faktor konversi standar internasional untuk pendugaan karbon

Perhitungan kandungan karbon per ha dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini menurut SNI (7724:2011).

$$Cn = \frac{C}{1000} \times \frac{10000}{l_{plot}}$$

Keterangan:

Cn: Karbon perhektar (hon/ha)

C: Karbon dalam kilogram (kg)

Lplot: Luas Plot Penelitian

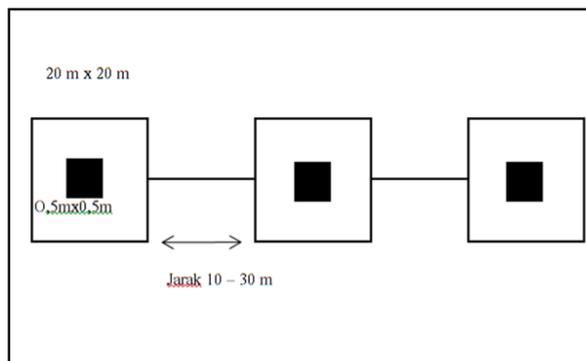
2. Hutan Rawa Gambut

a. Pembuatan Plot

Pemilihan lokasi pembuatan plot dilakukan secara purposive sampling. Plot yang diletakkan di sepanjang sebuah transek. Dalam transek terdiri



dari beberapa plot yang berukuran ukuran 20 m x 20 m digunakan untuk pohon sedangkan tumbuhan bawah menggunakan sub plot yang mempunyai ukuran 0,5 m x 0,5 m dengan jarak antar plot 10 m sampai 30 m, jumlah plot ditentukan berdasarkan lokasi pengambilan. Sampel dari biomassa tumbuhan bawah diambil menggunakan metode destruktif (merusak) yang kemudian dilakukan pengujian di laboratorium untuk mendapatkan berat kering. Data hasil pengamatan di lapangan dianalisis secara kuantitatif. Analisis kuantitatif yaitu dengan menghitung dan menganalisis biomassa tegakan, biomassa tumbuhan bawah serta karbon.



Gambar 3.2 Bentuk Plot Penelitian Karbon pada Rawa Gambut

b. Pengolahan Data

Perhitungan biomassa tegakan menggunakan persamaan alometrik (Chave, 2005). Untuk



perhitungan biomassa di hutan alam, rata-rata berat jenis kayu yang digunakan ialah 0,68 gr/cm³ atau 680 gr/m³ (Rahayu, 2006). Persamaan allometriknya sebagai berikut:

$$Y = 0,509 \times \rho \times DBH^2 \times T$$

Keterangan:

Y = Total Biomassa (kg)

P = Berat jenis kayu 0,68 gr/cm³

DBH = Diameter setinggi dada (m)

T = Tinggi bebas cabang (m)

Nilai dari besaran biomassa dari serasah dan tumbuhan bawah dapat menggunakan rumus (Badan Standarisasi Nasional, 2011), sebagai berikut:

$$\text{Total Biomassa (g)} = \frac{BK \text{ Sampel}}{BB \text{ Sampel}} \times \text{Total BB (g)}$$

Keterangan:

BK = Berat kering sampel (gram)

BB = Berat basah sampel (gram)

Rumus perhitungan cadangan karbon dapat dihitung setelah mengetahui besaran biomassa, yaitu dengan mengonversi nilai 47% dari nilai biomassa tumbuhan. Menurut BSN (2011), menyatakan rumus perhitungan cadangan karbon sebagai berikut:



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

Keterangan:

C = kandungan karbon (kg)

B = Biomassa tumbuhan (kg)

0,47 = besaran faktor konversi standar internasional untuk pendugaan karbon.

Perhitungan kandungan karbon per ha dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini menurut SNI (7724:2011).

$$Cn = \frac{C}{1000} \times \frac{10000}{l_{plot}}$$

Keterangan:

Cn: Karbon per hektar (hon/ha)

C: Karbon dalam kilogram (kg)

Lplot: Luas Plot Penelitian

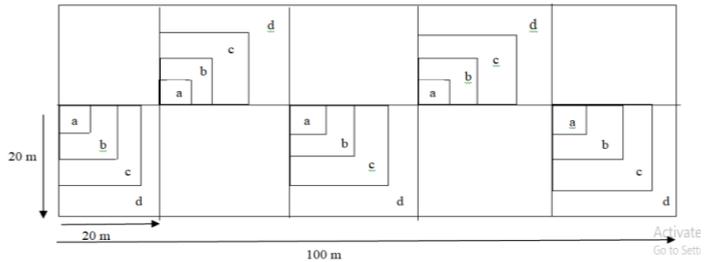
3. Hutan Pegunungan

a. Pembuatan Plot

Metode yang digunakan dalam yaitu metode jalur dengan garis berpetak yang dapat digunakan dalam pengukuran biomassa (Sutaryo 2009). Penentuan plot dilakukan dengan metode purposive sampling, yaitu dengan membuat plot di lokasi. Plot di masing-masing tutupan lahan seluas 20 m x 100 m terbagi menjadi 5 plot dengan ukuran 20m x 20m dan dibagi sesuai tingkatan pertumbuhan. Pembagian plot tersebut yaitu plot ukuran 20m x



20m untuk tingkatan pohon, ukuran plot 10m x 10m untuk tingkatan tiang, ukuran plot 5m x 5m untuk tingkatan pancang serta ukuran plot 2m x 2m untuk tingkatan semai.



Gambar 3.3 Bentuk Plot Pengamatan

Pengambilan sampel tumbuhan bawah dan serasah dilakukan secara destruktif, yaitu dengan mengumpulkan tumbuhan bawah dan serasah yang diambil dalam plot ukuran 2m x 2m kemudian ditimbang berat basahnya. Sampel yang diambil bawah sebanyak 200 gram sebagai berat contoh yang selanjutnya dikeringkan dalam oven selama 48 jam (atau hingga mendapatkan berat kering secara konstan) dengan suhu 80-85°C di laboratorium (Badan Standarisasi Nasional, 2011).

b. Pengolahan Data

Pengukuran yang dilakukan secara destruktif (tanpa melakukan kerusakan) dengan memerlukan data tinggi, diameter dan volume dapat menggunakan rumus allometrik pada Tabel 3.2



berikut:

Tabel 3.2 Persamaan Alometrik

Jenis Pohon	Rumus Alometrik	Sumber
Pohon Bercabang	$Bk = 0,11 \rho D^{2,62}$	Katterings <i>et.al.</i> 2001
Pohon tidak Bercabang	$Bk = \pi \cdot \rho H D^2/40$	Hairiah <i>et.al.</i> 2011
Kopi	$Bk = 0,281 D^{2,62}$	Arifin. 2001
Karet	$Bk = 0,11 \pi D^{2,62}$	Katterings <i>et.al.</i> 2001
Akasia	$Bk = 0,071 D^{2,2784}$	Sutaryo. 2009
Mahoni	$Bk = 0,048 D^{2,68}$	Adinugroho dan Sidiyasa. 2006
Pisang	$Bk = 0,30 D^{2,13}$	Arifin. 2001
Kelapa Sawit	$Bk = 0,0976 H + 0,0706$	(ICRAF. 2009)
Bambu	$Bk = 0,131 D^{2,28}$	Priyadarsini. 2000
Jenis Lainnya	$V = \frac{1}{4} \pi D^2 \cdot t \cdot f$ $Bk = V \times \rho$	Ikhsan. 2013

Keterangan:

Y = Biomassa pohon (kg/pohon)

D = diameter setinggi dada (dbh)/ diameter setinggi 130 cm (cm)

H / t= tinggi pohon (m)

F = faktor koreksi pohon (0,7)

Π = phi (22/7 atau 3,14)

V= volume (m³)

ρ= berat jenis kayu (kg/cm³)

Nilai dari besaran biomassa dari serasah dan tumbuhan bawah dapat menggunakan rumus (Badan Standarisasi Nasional, 2011), sebagai



berikut:

$$\text{Total Biomassa (g)} = \frac{BK \text{ Sampel}}{BB \text{ Sampel}} \times \text{Total BB (g)}$$

Keterangan:

BK = Berat kering sampel (gram)

BB = Berat basah sampel (gram)

Rumus perhitungan cadangan karbon dapat dihitung setelah mengetahui besaran biomassa, yaitu dengan mengonversi nilai 47% dari nilai biomassa tumbuhan. Menurut BSN (2011), menyatakan rumus perhitungan cadangan karbon sebagai berikut:

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

Keterangan:

C = kandungan karbon (kg)

B = Biomassa tumbuhan (kg)

0,47 = besaran faktor konversi standar internasional untuk pendugaan karbon

Perhitungan kandungan karbon per ha dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini menurut SNI (7724:2011).



$$Cn = \frac{C}{1000} \times \frac{10000}{lplot}$$

Keterangan:

Cn : Karbon per hektar (ton/ha)

C : Karbon dalam kilogram (kg)

$lplot$: Luas Plot Penelitian





BAB 4

ESTIMASI CADANGAN KARBON DALAM HUTAN

A. Estimasi Karbon Tersimpan pada Hutan Mangrove

Kawasan hutan mangrove di Kabupaten Tanah Laut terus mengalami kerusakan yang diakibatkan oleh pembukaan tambak, abrasi pantai dan kurangnya kepedulian masyarakat, salah satunya hutan mangrove yang berada di desa Pagatan Besar. Adanya aktivitas penduduk yang intens terhadap hutan mangrove secara signifikan berpotensi besar memicu lajunya emisi karbon. Hutan mangrove pada konteks tersebut kemudian menjadi sangat penting terkait perannya sebagai penyerap dan penyimpan karbon. Jumlah karbon yang tersimpan dalam tubuh vegetasi (biomassa) dapat menggambarkan banyaknya karbon dioksida di atmosfer yang diserap oleh vegetasi tersebut. Jumlah biomassa vegetasi mangrove di Desa



Pagatan Besar dapat menggambarkan seberapa besar kapasitas hutan mangrove dalam mengurangi atau menekan jumlah emisi karbon yang dihasilkan oleh kegiatan manusia, yang mana hal ini merupakan aspek jasa lingkungan yang berperan sangat penting terutama dikaitkan dengan eksistensi kegiatan manusia yang berada di sana. Usaha mengetahui potensi hutan mangrove sebagai pengikat karbon dan peranan dalam mitigasi perubahan iklim dapat dilakukan melalui penelitian mengenai estimasi karbon tersimpan pada hutan mangrove. Tujuan penelitian ini adalah mengestimasi karbon yang tersimpan pada tegakan mangrove di Desa Pagatan Besar Kecamatan Takisung Kabupaten Tanah Laut.

1. Vegetasi pada Hutan Mangrove Pagatan Besar

Hasil pengamatan yang dilakukan pada 3 stasiun, menunjukkan bahwa pada saat ini tidak dijumpai tanaman yang berukuran pohon. Tingkatan tertinggi yaitu tingkat tiang yang didominasi oleh jenis *Avicenia marina*. Jenis *Avicenia* sp ditemukan pada semua tingkatan vegetasi. Hanya terdapat 4 jenis tanaman mangrove yang dijumpai di lokasi pengamatan yaitu jenis *Avicennia marina*, *Avicennia alba*, *Acanthus* sp dan *Cerbera manghas*. Secara keseluruhan jenis keragaman biodiversitas di kawasan tersebut masih rendah dengan ditunjukkannya sedikitnya jenis vegetasi yang dijumpai. Pada Tabel 4.1 dapat dilihat kerapatan



jenis tumbuhan mangrove yang dijumpai pada ketiga stasiun.

Tabel 4.1 Kerapatan Mangrove pada Ekowisata Mangrove Pagatan Besar

Stasiun	Jenis Mangrove	Kerapatan (pohon/ha)		
		Tiang	Pancang	Semai
I	<i>Avicennia marina</i>	433.33	666.67	9167
	<i>Avicennia alba</i>	-	666.67	
	<i>Acanthus sp</i>			3333
II	<i>Avicennia marina</i>	233.33	266.67	
	<i>Cerbera manghas</i>		400	
III	<i>Avicennia alba</i>		800	

Mendominasinya *Avicennia marina* hal ini dikarenakan pada ketiga stasiun pengamatan sudah memasuki zona mangrove terbuka, yaitu mangrove yang berhadapan langsung dengan laut, menurut Noor et al (2006) jenis *Avicennia marina* cenderung untuk mendominasi daerah yang lebih berlumpur hal ini sesuai dengan kondisi di daerah Pagatan Besar.



2. Potensi Karbon Tersimpan Vegetasi Mangrove di Pagatan Besar

Ekosistem mangrove di wilayah pesisir sangat efektif dan efisien dalam mengurangi konsentrasi karbon dioksida (CO_2) di atmosfer, dikarenakan mangrove dapat menyerap CO_2 melalui proses fotosintesis dengan cara difusi lewat stomata kemudian menyimpan karbon dalam bentuk biomassa (Windardi AC, 2014). Maka dari itu sebagian besar biomassa pada vegetasi mangrove merupakan karbon dan nilai karbon yang terkandung dalam vegetasi mangrove merupakan potensi dari mangrove dalam menyimpan karbon. Salah satu cara untuk mengetahui nilai karbon tersimpan yang dimiliki oleh vegetasi mangrove adalah dengan cara mengestimasi (Twiller RR, et al 1992).

Nilai produksi bersih yang dihasilkan oleh ekosistem mangrove dalam kemampuannya menyerap karbon menurut data Kusmana C (1996) sebagai berikut: biomassa total (62,9-398,8 ton/ha), guguran serasah (5,8-25,8 ton/ha/tahun) dan tiap volume (9 m^3 /ha/tahun) pada tegakan ekosistem mangrove berumur 20 tahun. Potensi biomassa dari ekosistem mangrove yang baik di Asia Tenggara yaitu berkisar antara 250-275 ton/ha, sedangkan potensi biomassa terendah yaitu kurang dari 7,9 ton/ha (Daniel CD, et al, 2011).



Potensi total biomassa ekosistem mangrove di lokasi penelitian sebesar 40.10 ton/ha, hal tersebut menunjukkan potensi biomassa di kawasan ekosistem mangrove Pagatan Besar masih rendah. Menurut Hairiah et al (2007) dan Dharmawan, I,W,S et al, (2008), tinggi rendahnya potensi biomassa suatu ekosistem mangrove disebabkan oleh keragaman, tingkat kesuburan tanah dan kerapatan pohon serta cara pengelolaan pada ekosistem yang ada di kawasan tersebut.

Sedangkan potensi karbon tersimpan pada tegakan mangrove di Pagatan Besar mampu menyerap karbon sebesar 18,85 ton/ha. Kemampuan penyerapan karbon yang masih rendah maka perlu dilakukan kegiatan konservasi mangrove di Pagatan Besar sehingga manfaat ekologi mangrove sebagai penyerap karbon dapat mengurangi dampak pemanasan global yang terjadi di wilayah pesisir tersebut. Nilai biomassa selain dipengaruhi oleh kerapatan pohon juga dipengaruhi oleh besarnya diameter pohon itu sendiri, hal ini dikarenakan semakin besar diameter suatu pohon maka nilai biomasanya juga akan semakin besar. Keadaan ini sesuai dengan diameter pohon pada lokasi penelitian, di mana rata-rata diameter hanya 13.51 cm. Pengaruh dari tingginya nilai diameter batang terhadap nilai biomassa suatu tegakan pohon sangat besar



dibanding dengan kerapatan sejalan dengan pendapat Adinugroho CW et al, (2001) bahwa terdapat hubungan erat antara dimensi pohon (diameter dan tinggi) dengan biomasnya terutama dengan diameter pohon.

Seiring pertumbuhan suatu tegakan pohon maka akan menghasilkan nilai biomassa dan karbon tersimpan yang besar pula karena terjadi penyerapan CO₂ dari atmosfer melalui proses fotosintesis menghasilkan biomassa yang kemudian dialokasikan ke daun, ranting, batang dan akar yang mengakibatkan penambahan diameter serta tinggi pohon. Nilai biomassa yang telah diperoleh dapat menunjukkan berapa banyak kandungan karbon yang tersedia atau tersimpan pada suatu tegakan. Dikarenakan hampir 50% dari biomassa suatu tumbuhan tersusun oleh unsur karbon (Brown 1997). Untuk itu semakin besar nilai biomasnya, maka kandungan karbon tersimpan juga akan semakin besar. Bila suatu hutan diubah fungsinya menjadi lahan pertanian, perkebunan, dan kawasan industri, maka jumlah karbon yang tersimpan akan semakin merosot atau berkurang bahkan hilang sehingga karbon terlepas atau terjadi emisi karbon yang apabila terjadi terus menerus akan berujung pada meningkatnya jumlah karbon dioksida di udara sehingga menyebabkan pemanasan global.



Kawasan mangrove Pagatan Besar masih memerlukan pengelolaan yang intensif. Namun setidaknya, jika dalam 1 ha lahan di kawasan tersebut mampu menghasilkan biomassa sebesar 40,10 ton/ha dan menyimpan sebanyak 18,85 ton C/ha, maka areal kawasan yang luasnya hanya 10.5 ha mampu menghasilkan biomassa sebesar 421.05 ton atau mampu menyimpan cadangan karbon sebanyak 197.93 ton. Sehingga mangrove yang berada di kawasan tersebut mampu mengurangi kandungan CO₂ di atmosfer dengan cara menyerap dan menyimpan dalam bentuk cadangan karbon terutama karbohidrat melalui proses fotosintesis. Hasil perhitungan biomassa total di Kawasan Pagatan Besar yang masih terbilang rendah ini, menunjukkan bahwa diperlukan usaha untuk mempertahankan keutuhan hutan alami, dan menanam kembali pohon-pohon asli hutan mangrove tersebut.

3. Kesimpulan

- a. Kerapatan tertinggi diperoleh pada jenis *Avicennia marina* dan yang terendah pada jenis *Cerbera manghas*;
- b. Potensi biomassa pada tegakan mangrove di Pagatan Besar yaitu 40,10 ton/ha, dengan karbon tersimpan sebesar 18,85 ton/ha;
- c. Berdasarkan potensi biomassa dan karbon yang dihasilkan, menunjukkan bahwa kemampuan



ekosistem mangrove dalam menyerap karbon di Pagatan Besar masih rendah.

B. Estimasi Karbon Tersimpan di Atas Permukaan Tanah pada Lahan Pasca Perladangan Gilir Balik Masyarakat Suku Dayak

Berkembangnya pemanasan global menjadi salah satu penyebab utama dari perubahan iklim. Meningkatnya gas rumah kaca mengakibatkan pemanasan global yang mempengaruhi ekosistem bumi. Ketidakseimbangan konsentrasi CO₂ yang terdapat pada atmosfer dengan ketersediaan vegetasi juga menjadi salah satu penyebab perubahan iklim (Rahman et al, 2018). Vegetasi memiliki peran penting sebagai penyerap CO₂ sehingga dapat menjadi suatu upaya untuk mengatasi pemanasan global yang disebabkan oleh peningkatan gas rumah kaca. Penyimpanan karbon menjadi indikator penting dari jasa ekosistem hutan. Penentuan simpanan karbon dapat diketahui salah satunya melalui pengukuran biomassa di atas tanah (Puspanti et al. 2021). Biomassa di atas tanah terdiri dari vegetasi baik yang hidup atau yang telah mati. Namun, beberapa studi memfokuskan pengukuran biomassa di atas permukaan tanah menggunakan komponen hidup karena keunggulannya sebagai penyimpanan utama karbon. Biomassa di atas permukaan tanah menyumbang 70% hingga 90% dari total biomassa hutan (Kumar & Mutanga,



2017). Perkiraan biomassa yang akurat dapat dijadikan untuk dapat memahami tentang dampak deforestasi dan degradasi lingkungan (Kumar & Mutanga, 2017).

Kecamatan Loksado yang terletak di sekitar Pegunungan Meratus dengan mayoritas masyarakatnya merupakan Suku Dayak Meratus masih menerapkan kearifan lokal yang dimiliki masyarakat setempat. Seperti contohnya pada Desa Haratai, Desa Lok Lahung, dan Desa Loksado yang masih menerapkan sistem gilir balik untuk kegiatan berladang. Hal tersebut menyebabkan masih ditemukannya lahan-lahan bekas perladangan masyarakat. Lahan bekas perladangan oleh masyarakat dibedakan menjadi balukar anum, jurungan, dan kebun campuran. Perubahan penggunaan lahan oleh masyarakat dapat mempengaruhi cadangan karbon pada suatu ekosistem (Han et al. 2015). Sebelumnya, perubahan lahan hutan menjadi berbagai macam penggunaan lahan lainnya dipercaya menjadi penyebab utama pemanasan global (Besar et al. 2020). Menurut Abdullah et al. (2022), mengetahui ketersediaan cadangan karbon pada setiap penggunaan lahan diperlukan karena berhubungan dengan kegiatan perladangan yang berkelanjutan serta dapat menjadi upaya konservasi sumber daya alam.

1. Keanekaragaman Vegetasi

Jenis vegetasi yang ditemukan pada bekas areal perladangan untuk areal balukar anum, jaringan, dan



kebun buah memiliki hasil yang beragam. Pada areal balukar anum untuk tingkatan tiang ditemukan tumbuhan berkayu seperti balik angin (*Mallotus paniculatus*), kemiri (*Aleurites moluccana*), sungkai (*Peronema canescens*), kayu manis (*Cinnamomum verum*), karet (*Hevea brasiliensis*), lua (*Ficus racemosa*), bangkal gunung (*Nauclea subdita*), dan jengkol (*Archidendron pauciflorum*). Selain itu, ditemukan juga tanaman seperti pisang (*Musa* sp.) dan bambu (*Bambusa* sp.). Hal ini dikarenakan balukar anum merupakan bekas perladangan dengan umur 3 – 6 tahun sehingga masih ditemukan beberapa tanaman seperti pisang dan bambu. Untuk tingkatan pohon ditemukan jenis seperti jengkol (*Archidendron pauciflorum*), balik angin (*Mallotus paniculatus*), kemiri (*Aleurites moluccana*), sungkai (*Peronema canescens*), tarap (*Artocarpus odoratissimus*), bangkal gunung (*Nauclea subdita*), kayu bukit, dan beberapa tumbuhan buah khas Kalimantan seperti hambawang (*Mangifera foetida*) dan tiwadak (*Artocarpus integer*).

Areal jaringan yang merupakan bekas perladangan berusia 6-12 tahun didominasi oleh tumbuhan berkayu. Untuk tingkatan tiang ditemukan jenis berupa mahang (*Macaranga* sp.), kemiri (*Aleurites moluccana*), lua (*Ficus racemosa*), madang puspa (*Schima wallichii*), balik angin (*Mallotus*



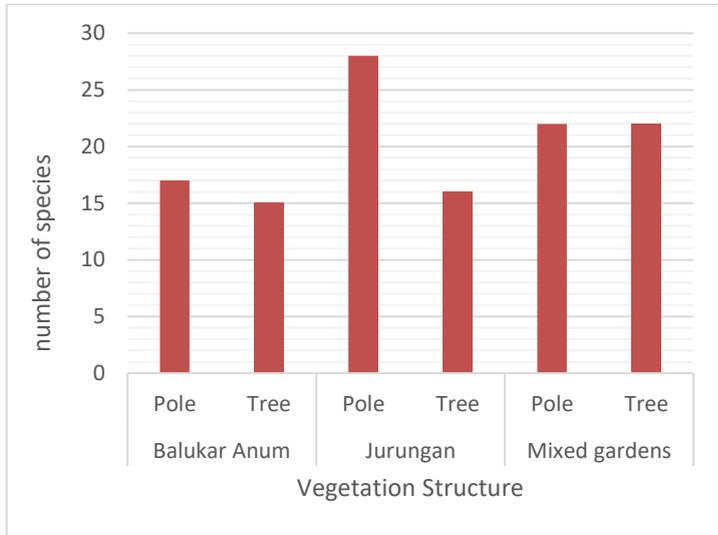
paniculatus), kemiri (*Aleurites moluccana*), kayu manis (*Aleurites moluccana*), sungkai (*Peronema canescens*), kayu palawan, tarap (*Artocarpus odoratissimus*), dan jengkol (*Archidendron pauciflorum*). Ditemukan jenis buah-buahan seperti hambawang (*Mangifera foetida*), durian (*Durio zibethinus*), dan pampakin (*Durio kutejensis*). Selain itu, pada areal ini masih ditemukan beberapa jenis bambu (*Bambusa* sp.). Vegetasi yang ditemukan pada tingkatan pohon meliputi tarap (*Artocarpus odoratissimus*), jengkol (*Archidendron pauciflorum*), karet (*Hevea brasiliensis*), sungkai (*Peronema canescens*), kayu manis (*Cinnamomum verum*), balik angin (*Mallotus paniculatus*), dan bangkal gunung (*Nauclea subdita*). Pada areal ini juga ditemukan beberapa tumbuhan buah seperti pampakin (*Durio kutejensis*), durian (*Durio zibethinus*), tiwadak (*Artocarpus integer*), hambawang (*Mangifera foetida*), kapul (*Baccaurea macrocarpa*) dan rambai (*Baccaurea motleyana*). Pada areal jaringan ditemukan jenis pionir seperti mahang (*Macaranga* sp.). Mahang merupakan salah satu jenis pionir yang memang banyak ditemukan pada areal bekas perladangan (Susanto, 2016; Karyati, 2013).

Vegetasi yang ditemukan pada areal kebun campuran dengan usia lebih dari 12 tahun didominasi oleh tumbuhan buah. Pada tingkatan tiang tumbuhan



buah yang ditemukan, yaitu durian (*Durio zibethinus*), langsung (*Lansium domesticum*), rambai (*Baccaurea motleyana*), manggis (*Garcinia parvifolia*), rambutan (*Nephelium lappaceum*), kasturi (*Mangifera casturi*), nangka (*Artocarpus integra*), hambawang (*Mangifera foetida*), kapul (*Baccaurea macrocarpa*), dan pampakin (*Durio kutejensis*). Ditemukan juga tumbuhan berkayu lainnya seperti sungkai (*Peronema canescens*), karet (*Hevea brasiliensis*), kemiri (*Aleurites moluccana*), kayu manis (*Cinnamomum verum*), dan tarap (*Artocarpus odoratissimus*). Jenis yang ditemukan pada tingkatan pohon hampir sama dengan vegetasi yang ditemukan pada tingkatan tiang. Namun, pada tingkatan pohon ditemukan vegetasi lain seperti kayu kuning (*Arcangelisia flava*), kayu luing (*Ficus hispida*), aren (*Arenga pinnata*) dan kelapa (*Cocos nucifera*). Pada areal kabun campuran ditemukan tumbuhan buah khas Kalimantan paling banyak dibandingkan daerah lain. Contoh tumbuhan buah khas Kalimantan antara lain pampakin (*Durio kutejensis*), ramania (*Bouea macrophylla*), kuini (*Mangifera odorata*), kasturi (*Mangifera casturi*), hambawang (*Mangifera foetida*), kapul (*Baccaurea macrocarpa*) dan rambai (*Baccaurea motleyana*).





Gambar 4.1 Perbandingan jenis vegetasi tiap areal bekas perladangan gilir balik

Gambar 4.1 menunjukkan perbandingan jumlah jenis vegetasi pada tiap areal perladangan. Dapat dilihat pada Gambar 4.1, vegetasi tingkat tiang memiliki jumlah jenis ditemukan lebih banyak dibandingkan tingkatan pohon pada setiap areal bekas perladangan. Areal kebun campuran memiliki jumlah jenis ditemukan lebih banyak dibandingkan dua areal lainnya. Hal ini dapat dipengaruhi oleh umur suatu lahan. Semakin tua sebuah komunitas vegetasi, spesies yang ditemukan akan semakin banyak, namun memiliki jumlah individu yang rendah pada setiap spesies. Pada komunitas yang muda akan ditemukan sedikit spesies dengan jumlah individu setiap spesies yang lebih



banyak. Serupa dengan penelitian Oktavia et al, (2021) di Pulau Belitung yang menyatakan jumlah jenis pada areal bebek dan padang memiliki jumlah jenis lebih sedikit dibandingkan dengan lahan rimba yang memiliki umur lebih tua dari kedua areal lainnya. Rendahnya jumlah jenis pada areal balukar anum dapat disebabkan karena pada umur lahan yang berusia 3 hingga 7 tahun tersebut baru saja mengalami pemulihan dari bekas perladangan yang dilakukan masyarakat (Aththorick, 2012).

2. Estimasi Karbon di Atas Permukaan Tanah

Masyarakat Kecamatan Loksado yang mayoritas merupakan Suku Dayak Meratus memiliki kearifan lokal dalam pengelolaan lahan untuk berladang. Pengelolaan lahan dengan menggunakan sistem gilir balik memiliki ciri utama dengan melakukan perladangan pada satu lahan yang setelah masa berladang selesai lahan tersebut akan ditinggalkan untuk memulihkan kondisi tanah dan peladang menggunakan lahan lainnya untuk berladang. Dengan adanya masa bera pada suatu lahan dapat meningkatkan penyimpanan karbon dalam tanah. Peningkatan bahan organik tanah dalam jangka waktu panjang dapat menurunkan CO₂ di atmosfer dan meningkatkan kesuburan tanah (Kristian et al. 2019). Oleh karena itu, dalam sistem pengelolaan lahan ini terdapat areal bekas



perladangan yang terbagi berdasarkan masa bera dari lahan tersebut.

Diameter vegetasi merupakan salah satu parameter penting untuk menilai performa dari setiap vegetasi dan memiliki hubungan yang erat dengan karakteristik pohon lainnya seperti volume, biomassa, dan karbon (Setiahadi 2021). Parameter berupa diameter umum dipakai sebagai variabel dalam penilaian biomassa di atas permukaan tanah. Terdapat beberapa studi yang menyatakan bahwa diameter sebagai variabel dalam perhitungan biomassa memiliki keakuratan yang baik (Ribeiro et al. 2015; Taeroe et al. 2015; Setiahadi 2021). Pada areal dengan vegetasi yang jarak tanamnya tidak teratur, diameter dapat menjadi variabel yang lebih baik dalam perhitungan estimasi karbon dibandingkan dengan menggunakan tinggi pohon. Hal ini dapat disebabkan karena pengukuran tinggi pohon memiliki potensi bias yang tinggi akibat sulit untuk menentukan tajuk dari suatu vegetasi (Setiahadi 2021). Diameter dan luas bidang dasar pada areal bekas perladangan dapat dilihat pada Tabel 4.2.



Tabel 4.2 Diameter dan luas bidang dasar vegetasi pada setiap areal bekas perladangan

Penutupan/ Penggunaan Lahan	Tiang		Pohon	
	Diameter (cm)	LBD (m ²)	Diameter (cm)	LBD (m ²)
1. Desa				
Haratai				
Balukar				
Anum	10.333	83.995	-	-
Jurungan	10.625	90.766	-	-
kabun		178.01		
campuran	14.773	7	26.684	572.802
2. Desa				
Lok				
Lahung				
Balukar				
Anum	10.500	86.743	-	-
Jurungan		119.16		
kabun	12.200	3	-	-
campuran	14.000	3	28.714	668.035
3. Desa				
Loksado				
Balukar				
Anum	13.617	1	27.026	579.821
Jurungan		147.45		
kabun	13.565	1	27.109	583.498
campuran	13.527	6	27.033	580.431

Rata-rata diameter dan luas bidang dasar tertinggi pada areal bekas perladangan untuk tingkatan tiang terdapat pada areal kebun campuran di Desa Haratai sebesar 14.773 cm dan 178.017 m². Sedangkan, untuk nilai terendah terdapat pada areal balukar anum di Desa Haratai dengan diameter 10.333 cm dan luas



bidang dasar 83.995 m². Diameter pada tingkatan pohon yang memiliki nilai tertinggi terdapat pada areal kebun campuran di Desa Lok Lahung, yaitu sebesar 28.714 cm dengan luas bidang dasar 668.035 m². Dibandingkan dengan Desa Haratai dan Desa Lok Lahung, pada Desa Loksado nilai diameter dan luas bidang dasar untuk tingkatan tiang dan pohon pada setiap areal bekas perladangan tidak memiliki perbedaan yang signifikan. kebun campuran menjadi areal dengan rata-rata diameter yang lebih tinggi dibandingkan daerah lainnya pada Desa Haratai dan Desa Lok Lahung. Selain itu, Desa Haratai dan Desa Loksado memiliki rata-rata diameter yang meningkat pada setiap areal bekas perladangan yang memiliki umur yang lebih tua. Berbeda dengan di Desa Loksado yang pada tingkatan tiang rata-rata diameter tertinggi terdapat pada areal balukar anum dan pada tingkatan pohon rata-rata diameter tertinggi terdapat pada areal jurungan.



Tabel 4.3 Perhitungan estimasi karbon di atas permukaan tanah

Penutupan/ Penggunaan Lahan	Jumlah Biomassa Tiang (ton/ha)	Jumlah Biomassa Pohon (ton/ha)	Total Biomassa (ton/ha)	Total Karbon (ton/ha)
1. Desa Haratai				
Balukar Anum	2.271	-	2.271	1.045
Jurungan	15,349	-	15349	21.181
kabun campuran	51.588	81.232	132.819	61.097
2. Desa Lok Lahung				
Balukar Anum	7.121	-	7.121	3.276
Jurungan	13.685	-	13.685	6.295
kabun campuran	40.872	138.595	179.467	82.555
3. Desa Loksado				
Balukar Anum	28.699	42.331	71.030	32.674
Jurungan	26.940	40.074	67.014	30.826
kabun campuran	26.218	39.810	66.028	30.373



Tabel 4.3 menunjukkan perhitungan estimasi karbon pada areal bekas perladangan di setiap desa. Dari Tabel 5 dapat dilihat bahwa pada tingkatan tiang jumlah biomassa tertinggi terdapat di areal kebun campuran Desa Haratai sebesar 51.588 ton/ha. Untuk jumlah biomassa terendah terdapat pada areal balukar anum di Desa Haratai sebesar 2.271 ton/ha. Jumlah biomassa tertinggi pada tingkatan pohon terdapat pada areal kebun campuran di Desa Lok Lahung sebesar 138.595 ton/ha. Sedangkan, untuk jumlah biomassa terendah terdapat pada areal kebun campuran di Desa Loksado sebesar 39.810 ton/ha. Areal kebun campuran memiliki nilai yang rendah jika dibandingkan dengan areal penggunaan lainnya yang terdapat pada Desa Loksado. Areal balukar anum memiliki jumlah biomassa tertinggi sebesar 42.332 ton/ha di antara areal jurungan dan kebun campuran di Desa Loksado. Sama seperti pada tingkatan tiang, jumlah biomassa pada tingkatan pohon di Desa Loksado memiliki nilai yang perbedaannya tidak terlalu signifikan. Hal tersebut berbanding dengan jumlah biomassa untuk tingkatan tiang pada Desa Haratai dan Desa lok Lahung yang meningkat seiring bertambah tuanya usia lahan.

Total biomassa tertinggi terdapat pada areal kebun campuran di Desa Lok Lahung dengan nilai sebesar 179.467 ton/ha dan paling rendah terdapat



pada areal balukar anum sebesar 2.271 ton/ha. Pada Desa Haratai dan Desa Lok Lahung, kebun campuran memiliki nilai total biomassa paling tinggi apabila dibandingkan dengan areal bekas perladangan lain, yaitu areal balukar anum dan areal jurungan. Namun, hasil yang berbeda ditemukan pada Desa Loksado, di mana jumlah biomassa tertinggi terdapat pada areal balukar anum dan kabun campuran menjadi areal dengan nilai biomassa paling rendah. Meskipun pada areal balukar anum memiliki nilai yang lebih tinggi, nilai biomassa pada ketiga areal bekas perladangan di Desa Loksado tidak memiliki perbedaan yang terlalu signifikan. Perbedaan pada Desa Haratai dan Desa Lok Lahung dengan Desa Loksado dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan yang berbeda. Hal tersebut serupa dengan pernyataan Dayamba et al. (2016), yang menyatakan terdapat perbedaan nilai total biomassa yang dapat disebabkan oleh kondisi lingkungan yang dapat mempengaruhi produktivitas vegetasi. Selain kondisi lingkungan, produksi biomassa pada vegetasi dapat dipengaruhi oleh jenis tanah, serta lamanya periode penanaman (Besar et al.2020).

Data total biomassa per hektar untuk setiap areal bekas perladangan dapat dilihat bahwa biomassa lebih besar terdapat pada tingkatan pohon dibandingkan dengan tingkatan tiang. Hal ini dikarenakan pohon



memiliki diameter yang lebih besar dibandingkan dengan vegetasi tingkat tiang. Secara umum, semakin besar ukuran vegetasi, maka biomassa dan karbon stok pada vegetasi tersebut akan semakin tinggi (Karyati et al. 2021). Diameter menjadi parameter penting dalam perhitungan biomassa serta karbon. Semakin besar diameter pohon dapat mengindikasikan pertumbuhan baik di mana vegetasi dapat menyerap nutrisi dan air dengan baik, sehingga dapat memiliki nilai biomassa yang tinggi (Setiahadi et al. 2021; Wang et al. 2019). Seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3, areal kebun campuran di Desa Lok Lahung memiliki rata-rata diameter paling besar sehingga memiliki biomassa dan total karbon tersimpan yang tinggi pula.

Sebagian besar hasil perhitungan biomassa dan karbon pada areal bekas perladangan meningkat sebanding dengan jumlah diameter yang semakin besar. Namun, terdapat beberapa hasil di mana rata-rata diameter vegetasi pada suatu areal tidak sesuai dengan besaran biomassa. Hal ini dapat disebabkan jumlah individu yang ditemukan pada areal tersebut lebih banyak sehingga dapat menghasilkan biomassa yang lebih besar pula. Serupa dengan penelitian Besar et al. (2020) yang menyatakan pada simpanan karbon pada sawit lebih besar dibandingkan dengan gaharu karena memiliki jumlah individu yang lebih banyak.

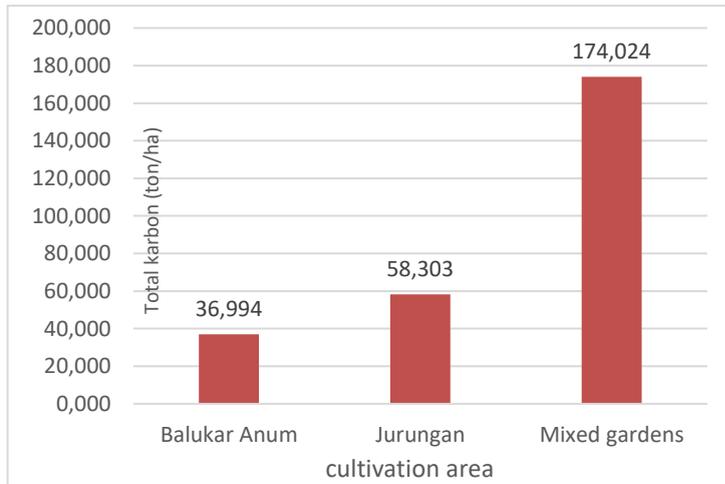


Estimasi karbon dihitung menggunakan 47% dari nilai biomassa. Berdasarkan Tabel 5 dapat dilihat bahwa nilai estimasi karbon tertinggi terdapat pada areal kebun campuran yang terdapat pada Desa Lok Lahung, yaitu sebesar 61.097 ton/ha. Sedangkan, nilai estimasi karbon terendah terdapat pada areal balukar anum di Desa Haratai yaitu sebesar 1,045 ton/ha. Desa Loksado menjadi desa dengan total nilai estimasi karbon tertinggi dibandingkan dengan Desa Haratai dan Desa Lok Lahung. Terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara estimasi karbon di areal kebun campuran dengan areal bekas perladangan lainnya pada Desa Haratai dan Desa Lok Lahung.

Hal ini dapat dikarenakan kebun campuran memiliki masa berat lebih lama dari areal lainnya sehingga tanah pada kebun campuran di Desa Haratai memiliki nilai yang lebih tinggi. Selain itu, akumulasi karbon dapat dipengaruhi oleh usia dari vegetasi (Dayamba et al. 2016). Kebun campuran merupakan areal bekas perladangan yang memiliki umur lebih dari 15 tahun, sehingga pada areal kebun campuran akan lebih banyak ditemukan vegetasi yang lebih tua jika dibandingkan dengan areal balukar anum dan jurungan. Hal ini sesuai dengan pernyataan Besar et al. (2020), yang menyatakan perbedaan penyerapan karbon dari berbagai macam penggunaan lahan dapat disebabkan



oleh perbedaan umur lahan.



Gambar 4.2 Total simpanan karbon pada areal bekas perladangan gilir balik

Gambar 4.2 memperlihatkan total simpanan karbon pada areal bekas perladangan. Berdasarkan Gambar 4.2, dapat dilihat bahwa kebun campuran memiliki total simpanan karbon paling tinggi sebesar 174.024 ton/ha dibandingkan dengan dua areal lainnya. Jurungan berada di posisi kedua dengan total 58.303 ton/ha dan balukar anum memiliki nilai simpanan karbon paling kecil sebesar 36.994 ton/ha. Hasil simpanan karbon pada areal kebun campuran memiliki nilai yang tidak berbeda jauh dengan cadangan karbon pada hutan alam di Sabah menurut Asner et al. (2018) yang berkisar antara 200-500 ton/ha dan pada penelitian Besar et al. (2020) yang memiliki hasil



249.90 ton/ha.

Selain itu, total karbon tersimpan pada areal balukar anum dan jurungan yang memiliki umur 3 – 15 tahun memiliki hasil yang lebih tinggi dibandingkan dengan agroforestri antara sawit dan gaharu serta monokultur sawit dalam penelitian yang dilakukan Besar et al. (2020). Perbedaan hasil setiap areal bekas perladangan ini dipengaruhi oleh umur lahan kebun campuran yang terbilang lebih tua dibandingkan dengan balukar anum dan jurungan sehingga banyak ditemukan vegetasi yang berusia lebih tua pula. Sebagian besar pohon yang berusia lebih tua memiliki diameter yang lebih besar sehingga dapat lebih banyak menyimpan karbon. Selain itu, pada areal kebun campuran ditemukan lebih banyak jenis spesies dibandingkan dengan areal bekas perladangan lainnya.

Menurut Karyati et al. (2020), jumlah karbon yang diserap oleh vegetasi dapat dipengaruhi oleh komposisi spesies. Hal ini memungkinkan areal dengan jumlah spesies yang lebih beragam dapat memiliki estimasi penyerapan karbon yang lebih besar. Hal tersebut serupa dengan penelitian Besar et al. (2020) pada lahan agroforestri di Sabah, Malaysia yang menyatakan areal hutan hujan tropis dengan jenis spesies yang lebih beragam memiliki estimasi penyerapan karbon di atas permukaan tanah yang lebih



besar dibandingkan dengan areal agroforestri sawit dengan gaharu.

3. Kesimpulan

Vegetasi tingkat tiang memiliki jumlah jenis ditemukan lebih banyak dibandingkan tingkatan pohon pada setiap areal bekas perladangan. Areal kebun campuran memiliki jumlah jenis ditemukan lebih banyak dibandingkan dua areal lainnya. Semakin tua sebuah komunitas vegetasi, spesies yang ditemukan akan semakin banyak, namun memiliki jumlah individu yang rendah pada setiap spesies. Rata-rata diameter dan luas bidang dasar tertinggi pada areal bekas perladangan untuk tingkatan tiang terdapat pada areal kebun campuran di Desa Haratai sebesar 14,773 cm dan 178,017 m². Sedangkan, untuk nilai terendah terdapat pada areal balukar anum di Desa Haratai dengan diameter 10,333 cm dan luas bidang dasar 83,995 m². Total biomassa per hektar untuk setiap areal bekas perladangan dapat dilihat bahwa biomassa lebih besar terdapat pada tingkatan pohon dibandingkan dengan tingkatan tiang. Hal ini dikarenakan pohon memiliki diameter yang lebih besar dibandingkan dengan vegetasi tingkat tiang. Pada tingkatan tiang jumlah biomassa tertinggi terdapat di areal kebun campuran Desa Haratai sebesar 51,588 ton/ha.



Jumlah biomassa terendah terdapat pada areal balukar anum di Desa Haratai sebesar 2,271 ton/ha. Jumlah biomassa tertinggi pada tingkatan pohon terdapat pada areal kebun campuran di Desa Lok Lahung sebesar 138,595 ton/ha. Sedangkan, untuk jumlah biomassa terendah terdapat pada areal kebun campuran di Desa Loksado sebesar 39,810 ton/ha. Estimasi karbon tertinggi terdapat pada areal kebun campuran yang terdapat pada Desa Lok Lahung, yaitu sebesar 61,097 ton/ha. Sedangkan, nilai estimasi karbon terendah terdapat pada areal balukar anum di Desa Haratai yaitu sebesar 1,045 ton/ha. Desa Loksado menjadi desa dengan total nilai estimasi karbon tertinggi dibandingkan dengan Desa Haratai dan Desa Lok Lahung. Perbedaan nilai biomassa dan karbon pada setiap areal bekas perladangan dapat dipengaruhi oleh diameter vegetasi, jumlah individu, banyaknya jenis spesies, serta umur suatu lahan.

C. Estimasi Kandungan Karbon pada Ekosistem Ekowisata Bekantan Kawasan Konservasi PT Antang Gunung Meratus

Kawasan ekowisata bekantan sejauh ini dikelola oleh PT. AGM dan Pemerintah Daerah Kabupaten Tapin. Secara geografis kawasan ekowisata bekantan terletak pada 3o0'20" - 3o0'59" LS dan 115o2'25" - 115o3'16" BT



dengan panjang 1,3 Km dan lebar 1,1 Km. Kawasan tersebut berada di sisi kanal Sungai Muning. Ekowisata bekantan merupakan suatu kawasan dengan tipe hutan rawa gelam. Hutan rawa gelam tersebut berada di sisi Kanal Sungai Muning didominasi oleh jenis gelam (*Melaleuca leucadendron*) dan berasosiasi dengan beberapa jenis tumbuhan rawa dangkal seperti pulantan (*Alstonia angustifolia*), mangobi (*Decaspermum fruticosum*) dan jelutung (*Dyera castulata*). Kawasan ekowisata bekantan telah mengalami restorasi sejak awal Tahun 2015, oleh karenanya terdapat beberapa jenis yang sengaja di tanam seperti bungur (*Lagerstomia speciosa*) dan kayu bulan (*Endospermum malaccense*). Rawa ini juga dihiasi dengan tumbuhan teratai, purun tikus, beberapa jenis ilalang serta eceng gondok. Beberapa jenis vegetasi yang dijumpai di kawasan ekowisata bekantan dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Vegetasi di Kawasan Ekowisata Bekantan PT AGM

No	Nama	Nama Ilmiah	Habitus
1	Galam	<i>Melaleuca cajuputi</i>	Pohon
2	Pulantan	<i>Alstonia angustifolia</i>	Pohon
3	Kayu bulan	<i>Endospermum malaccense</i>	Pohon
4	Bungur	<i>Lagerstomia speciosa</i>	Pohon
5	Mangobi	<i>Decaspermum fruticosum</i>	Pohon



6	Jambu hutan	<i>Syzigium ssp</i>	Pohon
7	Pantung/ Jelutung	<i>Dyera castulata</i>	Pohon
8	Kelakai	<i>Stenochlaena palustris</i>	Paku
9	Parupuk	<i>Phragmites karka</i>	Pohon
10	Wlingi	<i>Scirpus grossus</i>	Herba
11	Karamunting	<i>Melastoma malabathricum</i>	Perdu
12	Banta	<i>Leersia hexandra</i>	Herba
13	Bilaran	<i>Lindernia diffusa</i>	Herba
14	Kait-kait	<i>Uncaria acida</i>	Perdu
15	Kersen	<i>Muntingia ssp</i>	Pohon
16	Lambok / Keladi	<i>Colocasia esculenta</i>	Herba
17	Paku hijau	<i>Blechnum indicum</i>	Paku
18	Papisangan	<i>Jussieua erecta</i>	Herba
19	Melati-melatian	<i>Jasminum</i>	Perdu
20	Jungkal	<i>Crinum asiaticum</i>	Herba
21	Kumpai minyak	<i>Hymenachne acutigluma</i>	Herba
22	Ilalang/gelagah	<i>Saccharum spontaneum</i>	Herba
23	Kasisap/kremah	<i>Alternanthera sessilis</i>	Herba
25	Saringsing	<i>Benstonea kurzii</i>	Perdu
26	Rumput menjangan	<i>Eupatorium odoratum</i>	Herba



27	Ketapi	<i>Sandoricum koetjape</i>	Pohon
28	Waru	<i>Hibiscus tiliaceus</i>	Pohon
29	Nanangkaan	<i>Ficus sp</i>	Pohon
30	Sengon	<i>Albizia chinensis</i>	Pohon
31	Sanguang	<i>Dracontomelon dao</i> (Blanco)	Pohon
32	Petai	<i>Parkia speciosa</i>	Pohon
33	Belangeran	<i>Shorea balangeran</i>	Pohon
34	Kasisap	<i>Dipteracanthus sp</i>	Herba

1. Cadangan Karbon Ekosistem Ekowisata Bekantan Kawasan Konservasi PT AGM

Perhitungan biomassa dan karbon pada kawasan ekowisata bekantan dilakukan pada 3 tipe kerapatan, yaitu kerapatan rendah, sedang dan tinggi. Berdasarkan SK Bupati Tapin No. 188.45/060/KUM/2014 luas kawasan bernilai penting bagi konservasi bekantan (*Nasalis larvatus*) seluas 90 ha dan baru direalisasikan seluas 74.4 ha oleh PT AGM. Berdasarkan hasil interpretasi *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) citra tahun 2021, kawasan ekowisata bekantan dibagi menjadi tiga tutupan lahan berdasarkan kerapatan tegakan yaitu kerapatan rendah, kerapatan sedang dan kerapatan tinggi. Pada Tabel 4.5 dapat dilihat luas tiap masing-masing kerapatan.



Tabel 4.5. Luas Kawasan Ekowisata Bekantan Berdasarkan Kelas Kerapatan Tegakan

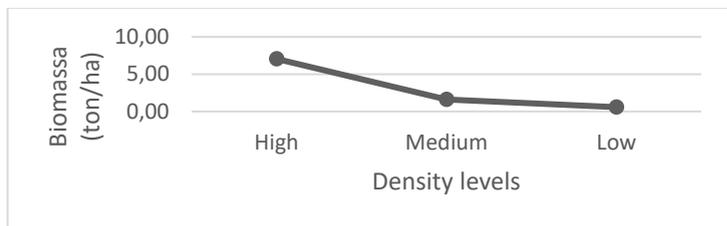
Tipe kerapatan	Luas (ha)
Kerapatan tinggi	27.6
Kerapatan sedang	39.1
Kerapatan rendah	7.7
Total	74.4

Rosalina et al. (2013) menjelaskan bahwa biomassa adalah berat per satuan luas yang terdiri dari berat daun, bunga, buah, cabang, ranting, batang, akar, dan pohon mati. Kerapatan kayu, diameter, tinggi, dan kesuburan tanah merupakan variabel yang dapat mempengaruhi jumlah biomassa (Dharmawan 2013; Siregar dan Heriyanto 2010). Estimasi biomassa berpengaruh terhadap siklus karbon, terutama di hutan tanaman tropis (Heriyanto et al. 2012; Putri dan Wulandari 2015). Biomassa hutan mengandung karbon sekitar 47% (IPCC 2013). Selain itu, data biomassa sangat berguna untuk mengevaluasi produktivitas berbagai ekosistem yang ada (Chave et al. 2014; Natalia et al. 2014). Tumbuhan pohon muda memiliki peluang yang baik untuk mengikat dan mengurangi karbon dioksida di udara. Pohon yang lebih tua tumbuh lebih lambat daripada pohon yang lebih muda. Melalui



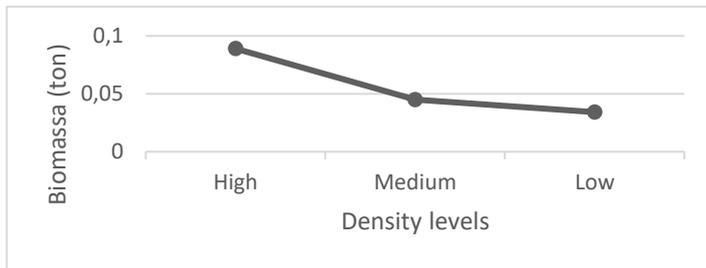
proses metabolisme asam nukleat, lipid dan protein diubah menjadi organ tumbuhan setelah mengalami mekanisme fotosintesis karbon dioksida, dan air diubah menjadi karbohidrat (Campbell et al. 2002).

Jumlah biomassa pohon yang terkandung pada kawasan rawa gelam di ekowisata bekantan PT AGM dengan jumlah petak pengamatan sebanyak 45 plot adalah sebesar 26.11 ton. Nilai tertinggi untuk kandungan biomassa pohon ditemukan pada kerapatan tinggi dengan jumlah 13.85 ton. Keadaan ini disebabkan pada kondisi kerapatan tinggi banyak dijumpai pohon dengan tingkat vegetasi tiang sehingga memberikan nilai estimasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan kerapatan sedang dan rendah. Gambar 4.3 menunjukkan jumlah estimasi biomassa pohon yang terkandung di kawasan penelitian. Estimasi biomassa serasah yang diperoleh pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.4, di mana biomassa serasah tertinggi diperoleh pada tingkat kerapatan tinggi yaitu sebesar 0.088988 ton



Gambar 4.3. Estimasi biomassa pohon di kawasan ekowisata bekantan PT AGM





Gambar 4.4. Estimasi Biomassa Serasah di Kawasan Ekowisata Bekantan PT AGM

Kandungan karbon dari suatu spesies pohon sangat bergantung pada jumlah, diameter dan tinggi, serta berat jenis kayu (Dharmawan & Samsuedin, 2012). Berdasarkan luasan area sampel yang diambil, diperoleh 12,35 ton/ha cadangan karbon. Cadangan karbon di kawasan ekowisata bekantan PT AGM jauh lebih baik dibandingkan dengan hasil perhitungan di hutan rawa galam PT Jorong Barutama Grestone di Tanah Laut, yaitu 7,85 ton/ha (Ulianata et al, 2021). Jika dibandingkan dengan potensi karbon yang tersimpan pada tegakan mangrove di Pagatan Besar (Rezekiah et al, 2021) sebesar 18,85 ton/ha, maka nilai karbon di kawasan ekowisata bekantan PT AGM relatif lebih kecil.

Hal ini jika dibandingkan dengan hasil pengukuran cadangan karbon pada hutan rawa gambut di kawasan konservasi PT Nasional Sago Prima (NSP) Kepulauan Meranti Riau (Rosalina et al, 2013) sebesar



24. 06 ton/ha, maka cadangan karbon di ekowisata bekantan PT AGM lebih kecil, hal ini disebabkan karena luasannya yang jauh berbeda, jenis vegetasi yang jauh berbeda. Di mana pada PT NSP yang dominan adalah jenis pohon dan tiang berdiameter >20 cm dan terdapat jenis vegetasi yang berasal dari famili *Dipterocarpaceae* yaitu *Shorea rugosa* dan *Shorea teysmanniaa*, kedua jenis tersebut memiliki biomassa yang lebih tinggi dan nilai karbon yang tinggi. Setelah dikonversikan dengan luasan masing-masing kerapatan tegakan, maka diperoleh nilai cadangan karbon akhir sebesar 356,45 ton.

2. Kesimpulan

Untuk meningkatkan nilai karbon, rehabilitasi dan restorasi lahan masih diperlukan, terutama pada lahan dengan kerapatan rendah dan sedang. PT AGM dapat menanam beberapa jenis tanaman yang memiliki berat jenis tinggi, misalnya dari famili *Dipterocarpaceae*, yaitu spesies *Shorea balangeran* dan ramin. Kedua jenis tersebut merupakan tanaman endemik rawa gambut dan dapat menjadi sumber pakan bekantan (*Nasalis larvatus*) yang ada di kawasan tersebut.

D. Cadangan Karbon pada Taman Hutan Hujan Tropis Indonesia (TH2TI) Kalimantan Selatan

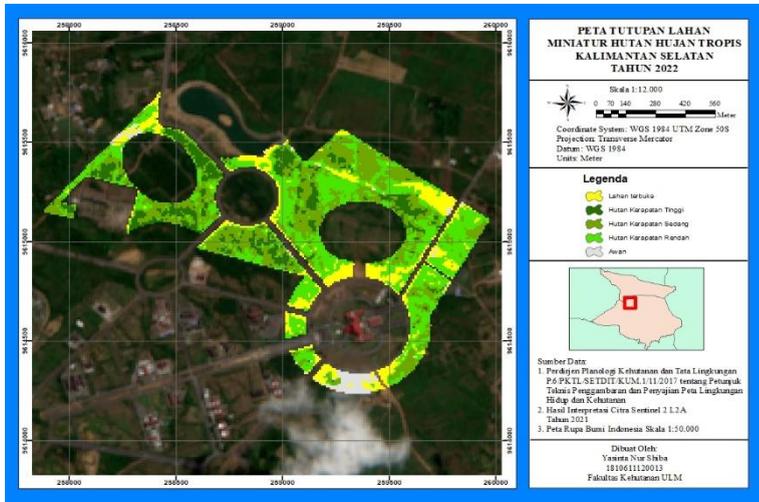
Kawasan Taman Hutan Hujan Tropis Indonesia (TH2TII)



Kalimantan Selatan merupakan ruang terbuka hijau yang baru dibuat oleh pemerintah daerah Kalimantan Selatan. Ruang terbuka hijau (RTH) yang dibuat adalah RTH terbesar yang ada di Kalimantan Selatan dan juga terletak di dekat perkantoran sehingga banyak wisatawan yang datang ke sana. Kondisi yang teduh dan sejuk serta damai menjadikan lokasi tersebut cocok untuk dilakukan berbagai aktivitas seperti piknik dan berolahraga. Lokasi yang teduh dan sejuk disebabkan karena banyak pepohonan yang sudah tumbuh besar di sana dan tidak hanya satu jenis pohon saja yang tumbuh di TH2TI.

TH2TI memiliki luas 90 ha yang terbagi menjadi 4 blok utama dan 25 petak. Penentuan lokasi petak ukur yang dijadikan contoh dilakukan secara purposive sampling atau diambil secara sengaja dengan tujuan tertentu. Lokasi petak ukur diambil berdasarkan pertimbangan keamanan, keragaman jenis dalam suatu lokasi dan kerapatan tutupan lahan di lokasi pengamatan. Kerapatan tutupan lahan yang dianalisis dibagi menjadi 3 yaitu kerapatan tinggi, kerapatan sedang dan kerapatan rendah, Penentuan kerapatan tutupan lahan dilakukan menggunakan bantuan ArcGIS. Peta kerapatan tutupan lahan di TH2TI dapat dilihat pada Gambar 4.5.





Gambar 4.5. Peta Tutupan Lahan Lokasi TH2TI Kalimantan Selatan

Berdasarkan hasil observasi lapangan, jenis pohon yang ditumbuhkan di TH2TI meliputi jenis *Dipterocarpaceae*, jenis rimba campuran, dan jenis tumbuhan pokok seperti mahoni dan ulin. Semua jenis pohon tersebut tumbuh dalam blok yang berbeda. Jenis *Dipterocarpaceae* tumbuh di blok III, jenis rimba campuran tumbuh di blok I dan II, dan jenis tumbuhan pokok mahoni ditanam di blok IV sedangkan ulin di blok II. Setiap blok TH2TI memiliki tingkat kerapatan yang beragam. Pada penelitian ini, kerapatan tutupan lahan di TH2TI dikategorikan menjadi tiga yaitu kerapatan tinggi, sedang, dan rendah.

Analisis vegetasi merupakan cara mempelajari komposisi spesies dan struktur vegetasi (Samad et al. 2019).



Salah satu analisis vegetasi adalah mengetahui INP dan indeks keragaman vegetasi. Data INP digunakan untuk mengetahui jenis-jenis vegetasi yang dominan dalam suatu wilayah atau lokasi penelitian dalam satuan persen. Indeks keragaman digunakan untuk mengetahui tingkat keragaman vegetasi pada lokasi penelitian. Hasil analisis INP yang diperoleh pada tumbuhan tingkat tiang, pohon dan indeks keragaman dapat dilihat pada tabel-tabel berikut:

Tabel 4.6. Indeks Nilai Penting Tingkat Tiang

No	Jenis	Jumlah Jenis	K	KR (%)	F	FR(%)	Do	DoR (%)	INP
1	Sengon	6	3500	64%	0,67	43%	64058,47	66%	173%
2	Jabon Putih	4	700	13%	0,44	29%	17091,3	18%	59%
3	Mahoni	4	1300	24%	0,44	29%	15809,66	16%	69%

Tabel 4.7. Indeks Nilai Penting Tingkat Pohon

No	Jenis	Jumlah Jenis	K	KR (%)	F	FR(%)	Do	DoR (%)	INP
1	Sengon	5	175	70%	0,56	71%	7359,207	69%	211%
2	Jabon Putih	2	75	30%	0,22	29%	3284,236	31%	89%

Tabel 4.8. Indeks Keragaman Tingkat Tiang

No	Jenis Vegetasi	Indeks Keragaman
1	Sengon	0,32
2	Jabon Putih	0,32
3	Mahoni	0,34



Tabel 4.9. Indeks Keragaman Tingkat Pohon

No	Jenis	Indeks Keragaman
1	Sengon	0,25
2	Jabon Putih	0,36

Jenis yang tersedia pada tingkat tiang dan pohon pada lokasi hanya 3 jenis yaitu sengon (*Albizia chinensis*), jabon putih dan merah (*Neolamarckia* sp.) serta Mahoni (*Swietenia mahagoni*). Berdasarkan Tabel 4.6, jenis vegetasi yang mendominasi pada tingkat tiang adalah tingkat sengon dengan nilai INP sebesar 173%. Pada Tabel 2 atau INP tingkat pohon, jenis vegetasi yang ada diantaranya hanya jenis sengon dan jabon putih. Jenis vegetasi yang mendominasi pada tingkat pohon juga jenis sengon dengan nilai INP 211%. Keadaan ini disebabkan karena jenis sengon termasuk dalam jenis tumbuhan *fast growing* atau cepat tumbuh sehingga diameter batangnya mayoritas lebih besar dibandingkan jenis lainnya. Hasil ini sesuai menurut Handayani (2021), di mana INP tertinggi ada pada jenis mahoni dengan nilai 88,2%.

Hasil data indeks keragaman menunjukkan bahwa tingkat keragaman vegetasi baik tingkat tiang maupun tingkat pohon pada lokasi penelitian masih rendah yakni masih di bawah 1. Nilai indeks keragaman tertinggi tingkat tiang ada pada jenis mahoni dengan nilai 0,34 dan indeks keragaman tertinggi tingkat pohon ada pada jenis jabon



putih dengan nilai 0,36. Alasan dari rendahnya tingkat keragaman vegetasi pada penelitian ini yaitu lokasi penelitian atau TH2TI dibangun sejak tahun 2017 sehingga masih belum banyak jenis vegetasi yang ditanam pada lokasi tersebut. Penelitian yang dilakukan oleh Mariana & Warso (2016) diperoleh data bahwa indeks keragaman di hutan kota Pekanbaru termasuk dalam golongan sedang. Hutan Kota Pekanbaru dibangun sejak tahun 1999 namun indeks keragaman di sini tergolong sedang. Keadaan ini sesuai dengan kondisi hutan kota di TH2TI yang baru dibangun kurang dari 10 tahun, di mana indeks keragamannya masih tergolong rendah.

Hutan memiliki beberapa fungsi yang secara langsung dapat dirasakan tetapi tidak dapat dilihat dalam bentuk nyata. Salah satunya yaitu fungsi hutan sebagai penyerap karbon. Menurut Firdaus (2013) kemampuan hutan menyerap karbon tergantung pada besarnya volume biomassa pada hutan tersebut. Besarnya biomassa pohon dapat dijadikan dasar dalam menentukan jumlah cadangan karbon yang diserap dan disimpan dalam batang (Uthbah et al. 2017). Pada penjelasan ini, total cadangan karbon di TH2TI dihitung berdasarkan luas wilayah TH2TI dan besarnya biomassa di atas permukaan.

Pendugaan karbon ini mengukur biomassa dari tingkat tiang hingga tingkat pohon. Tingkat vegetasi ini dipilih karena pada masa itu tegakan sudah cukup besar



sehingga dapat diduga berapa banyak karbon yang disimpan. Nilai biomassa didapat dari data inventarisasi diameter (cm) pohon dengan berat jenis kayu yang tergantung dari kerapatan serat kayu tersebut. Berat jenis yang digunakan dalam penelitian ini meliputi jenis jabon, dengan berat jenis 0,425 g/cm³, sengon dengan berat jenis 0,48 g/cm³, dan mahoni dengan berat jenis 0,6675 g/cm³.

Menurut Uthbah et al (2017), besarnya ukuran diameter dapat disebabkan karena banyaknya karbon dioksida yang diserap dan disimpan oleh tegakan dalam batangnya karena karbon yang disimpan itu dalam bentuk kayu. Berdasarkan data hasil penelitian, rata-rata kandungan biomassa dan cadangan karbon yang ada di TH2TI dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.10. Hasil Biomassa dan Cadangan Karbon di TH2TI

Tingkat Kerapatan Hutan	Luas Wilayah (ha)	Biomassa (Ton/ha)	Karbon (Ton/ha)	Biomassa (Ton)	Karbon (Ton)
Tinggi	9,873	19,408	9,122	191,614	90,058
Sedang	25,332	11,810	5,551	299,177	140,609
Rendah	29,226	10,021	4,710	292,867	137,645
Total	64,431	41,239	19,382	783,658	368,312

Total luas wilayah TH2TI berdasarkan data citra satelit pada tahun 2022 adalah 90 ha dengan kategori wilayah terbagi menjadi dua yaitu wilayah berhutan sebesar 64,431 ha dan wilayah tidak berhutan sebesar 25,569 ha.



Berdasarkan tabel di atas, biomassa tertinggi ada pada tingkat hutan kerapatan tinggi dengan nilai 19,408 ton/ha dan terendah pada tingkat kerapatan hutan rendah dengan nilai 10,021 ton/ha. Sedangkan nilai karbon tertinggi juga pada tingkat kerapatan hutan tinggi sebesar 9,122 ton/ha dan terendah pada tingkat kerapatan hutan rendah sebesar 4,710 ton/ha.

Pada kerapatan hutan tinggi, diameter pohon yang ada lebih besar daripada diameter pohon pada kerapatan hutan rendah dan sedang, sehingga pernyataan oleh Lubis et al. (2013) yaitu karbon pohon mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan diameter batang sesuai dengan hasil yang diperoleh dalam penelitian ini. Menurut Firdaus (2013) yaitu kemampuan hutan untuk menyerap karbon tergantung pada besarnya volume biomassa pada hutan tersebut. Hasil karbon dalam petak yang tertinggi ada pada tingkat kerapatan tinggi yaitu 9,122 ton/ha. Selain tingkat kerapatan, jenis hutan dan luas hutan atau tingkat kerapatan juga berpengaruh terhadap besarnya karbon yang disimpan. Seperti penelitian karbon di hutan mangrove Pagatan Besar, karbon yang dihasilkan sebesar 40,10 ton/ha (Rezekiah et al. 2021). Berbanding jauh dengan penelitian karbon di hutan kota (TH2TI) yang total keseluruhan kerapatan 19,382 ton/ha. Pada hutan mangrove, diameter pohonnya mayoritas besar sehingga dapat menyimpan karbon dalam jumlah yang besar serta wilayah gambut sebagai tempat



hidup tumbuhan bakau (mangrove) juga memiliki simpanan karbon yang melimpah.

Total biomassa dan stok karbon akhir sesuai luas lokasi. Pada Tabel 4.10, hasil biomassa dan stok karbon tertinggi ada pada hutan kerapatan sedang dengan nilai masing-masing 299,177 ton dan 140,609 ton. Keadaan ini disebabkan selain besar diameter yang berpengaruh terhadap nilai karbon, luas wilayah kerapatan juga memengaruhi nilai karbon yang dihasilkan. Semakin luas lokasi penelitian, maka cadangan karbon yang tersimpan juga semakin banyak. Berdasarkan penjelasan diketahui bahwa wilayah kerapatan terluas ada pada hutan kerapatan rendah sebesar 29,226 ha. Namun, cadangan karbon per ton pada wilayah ini bukan yang terbesar karena diameter batangnya masih banyak di bawah 10 cm sehingga tidak masuk dalam sampel.

Hasil pengamatan ini juga sama dengan yang disampaikan Lestari et al. (2019) di mana kandungan karbon pada berbagai tingkat kerapatan vegetasi di hutan gambut Kecamatan Aluh-Aluh yang tertinggi ada pada tingkat kerapatan jarang dengan nilai 72.066.690,6 ton sedangkan yang terendah ada pada tingkat kerapatan rapat dengan nilai 7.710.940 ton. Kandungan karbon pada hutan gambut lebih besar daripada kandungan karbon pada hutan kota serta hutan kota TH2TI ini baru dibangun pada tahun 2017 sehingga besar diameter yang ada pada lokasi tidak



sebesar hutan gambut di Kecamatan Aluh-Aluh. Selain itu, perbedaan unsur hara juga menjadi alasan kandungan karbon pada lokasi yang lebih kecil.

Kandungan karbon yang berada pada hutan kota jauh lebih kecil dibandingkan jenis hutan lainnya, hutan kota juga berperan langsung dalam menurunkan emisi gas rumah kaca. Hal ini dibuktikan dengan total kandungan karbon yang dapat diserap atau disimpan oleh TH2TI yakni sebesar 368,312 ton. Adanya perhitungan mengenai kandungan karbon pada suatu wilayah dapat menjadi acuan di masa depan dalam menghitung besarnya manfaat yang diberikan oleh alam sehingga kita bisa menjadi lebih menghargai dan menjaga kelestarian lingkungan.

1. Kesimpulan

Jenis vegetasi yang tumbuh di TH2TI mayoritas merupakan jenis *fast growing* seperti sengon, jabon putih dan mahoni. Hasil INP tingkat tiang dan pohon menunjukkan bahwa jenis vegetasi yang mendominasi pada lokasi adalah jenis sengon dengan nilai INP tingkat tiang sebesar 173% dan INP tingkat pohon sebesar 211%. Hasil indeks keragaman Shannon-Wiener menunjukkan tingkat keragaman di lokasi cukup rendah dengan nilai indeks keragaman tertinggi hanya sebesar 0,34 pada tingkat tiang dan 0,36 pada tingkat pohon. Total biomassa yang terdapat di TH2TI sebesar 783,658 ton dan total cadangan karbon pada



TH2TI sebesar 368,312 ton. Total cadangan karbon pada pohon dipengaruhi oleh total biomassa yang dihasilkan dan besarnya biomassa dipengaruhi oleh besarnya diameter tegakan tersebut. Selain itu, luas wilayah juga berpengaruh terhadap cadangan karbon yang dimiliki, semakin tinggi luas suatu wilayah, maka semakin besar juga cadangan karbon yang disimpan







BAB 5

STRATEGI PENGELOLAAN CADANGAN KARBON

A. Pemanfaatan Hasil Estimasi Cadangan Karbon

Hasil estimasi cadangan karbon dari berbagai tipe hutan dan lahan dapat memberikan berbagai manfaat selain dalam bidang keilmuan sebagai bahan bacaan dan pembelajaran. Salah satunya adalah dapat digunakan untuk pengelolaan ekosistem hutan di mana hutan memiliki peran yang besar dalam penyerapan karbon dioksida (CO_2), dalam bidang pertanian nilai dari estimasi cadangan karbon khususnya pada cadangan karbon tanah sehingga dapat membantu petani mengadopsi praktik pertanian berkelanjutan, sebagai upaya dalam penurunan emisi karbon, serta pengelolaan hutan berbasis perdagangan karbon di mana cadangan karbon yang diestimasi dengan akurat dapat membantu hutan atau lahan memperoleh sertifikat karbon. Ini dapat diperdagangkan dalam pasar karbon untuk mendukung



proyek-proyek pelestarian hutan dan pengurangan emisi.

1. Pengelolaan Ekosistem Hutan

Hutan merupakan komponen penting dalam hal penyerapan karbon dioksida (CO_2) yang ada di atmosfer. Dengan komposisi yang ada di dalamnya, baik itu pohon, pancang, tiang, semai dan tumbuhan bawah dan bahkan bagian yang sudah mati sekalipun berperan dalam menyerap karbon. Karbon yang diserap oleh pohon, serasah dan bagian yang sudah mati itu akan disimpan dalam bentuk biomassa. Dengan demikian dapat diartikan bahwasanya semakin besar kuantitas hutan, maka karbon yang diserap juga akan semakin banyak, dan sebaliknya, semakin banyaknya deforestasi dan pembakaran hutan, karbon yang ada di atmosfer juga akan semakin meningkat dan dalam kondisi tertentu karbon dapat berubah menjadi molekul berbahaya (CO_2 , CH_4 , N_2O) di atmosfer dalam bentuk gas rumah kaca (GRK) yang akhirnya akan menimbulkan pemanasan global. (Hairiah et al, 2011).

Cadangan karbon yang diidentifikasi dapat menjadi dasar untuk mengembangkan proyek-proyek karbon, seperti proyek penanaman hutan atau rehabilitasi lahan terdegradasi. Indikator penting pada hutan adalah nilai penyimpanan karbon hutan yang merupakan salah satu manfaat hutan, jika terjadi kerusakan hutan seperti kebakaran hutan maka karbon



yang telah dikunci oleh hutan akan kembali ke atmosfer sehingga karbon dioksida (CO₂) akan mempercepat laju pemanasan global. Pengurangan luasan kawasan hutan atau deforestasi dapat mengancam hilangnya keanekaragaman hayati dan meningkatkan emisi gas CO₂.

Besar kecilnya hasil dari serapan karbon sangat dipengaruhi oleh keberadaan hutan, jika dilakukan penilaian estimasi cadangan karbon secara rutin dan berkelanjutan maka dapat dilihat apakah ada peningkatan atau penurunan. Jika terjadi penurunan dapat dievaluasi apa penyebabnya dan apa yang akan dilakukan untuk mengembalikan atau meningkatkan nilainya kembali sehingga dapat memberikan rekomendasi jenis pohon untuk ditanam kembali.

Perhitungan manfaat hutan menunjukkan bahwa upaya pelestarian hutan perlu dilakukan, upaya dalam mencegah pengurangan luasan hutan memberikan eksternalitas yang positif dan mampu meredam perubahan iklim. Peningkatan luasan kawasan hutan dapat meningkatkan penyimpanan karbon sehingga mampu menghilangkan emisi gas CO₂ dari atmosfer bumi (Harris dan Roach, 2021). Dalam perencanaan tata guna lahan estimasi cadangan karbon dapat digunakan untuk mengidentifikasi area yang sebaiknya dijaga atau dikembangkan dengan



mempertimbangkan dampak terhadap cadangan karbon.

2. Bidang Pertanian

Hasil estimasi cadangan karbon dapat memberikan pemahaman tentang cadangan karbon tanah sehingga dapat membantu petani mengadopsi praktik pertanian berkelanjutan yang meningkatkan kandungan karbon tanah, seperti penanaman penutup tanah dan pengelolaan residu tanaman. Jika semakin banyak karbon disimpan dalam tanah sebagai karbon organik, akan mengurangi jumlah karbon yang ada di atmosfer sehingga membantu untuk mengurangi masalah pemanasan global dan perubahan iklim (Chan et al, 2008 dalam Mawardi Ikhwanuddin et al., 2022). Selain potensi untuk menyeimbangkan (*offset*) emisi antropogenik, peningkatan jumlah simpanan SOC juga dapat meningkatkan kualitas tanah karena mempengaruhi ketiga aspek kesuburan tanah yaitu kesuburan kimia, fisik, dan biologi (Chan et al, 2008 dalam Mawardi Ikhwanuddin et al., 2022).

Sekuestrasi karbon ke dalam tanah akan mendorong perubahan penting dalam pengelolaan lahan melalui peningkatan kandungan bahan organik, dan akan memiliki efek langsung yang signifikan terhadap sifat-sifat tanah dan dampak positif pada kualitas lingkungan atau kualitas pertanian dan keanekaragaman hayati. Konsekuensinya akan mencakup peningkatan



kesuburan tanah, produktivitas lahan untuk produksi pangan dan ketahanan pangan. Sehingga jika dilihat dari aspek ekonomi akan membuat nilai ekonomi meningkat karena praktik-praktik pertanian lebih lestari dan membantu untuk mencegah atau mengurangi degradasi sumber daya lahan (Robert 2001 dalam Mawardi Ikhwanuddin et al, 2022).

3. Penurunan Emisi Karbon

Serapan dan simpanan karbon merupakan komponen yang sangat penting dalam siklus karbon global dan keberadaannya akan memiliki dampak penting pada iklim global di masa depan. Peningkatan jumlah serapan karbon tidak hanya mengendalikan gas rumah kaca tetapi juga bermanfaat bagi produktivitas pertanian dan kehutanan. Jumlah karbon yang mungkin dapat disimpan di dalam tanah mencerminkan keseimbangan antara pasokan dan kehilangan dan dipengaruhi oleh tipe tanah (komposisi mineral tanah dan tekstur), iklim (curah hujan, suhu), dan praktik-praktik pengelolaan lahan. Praktik-praktik pengelolaan yang direkomendasikan untuk membangun atau meningkatkan simpanan/sekuestrasi karbon di dalam tanah pada dasarnya adalah semua yang meningkatkan pasokan bahan organik ke dalam tanah atau menurunkan laju dekomposisi bahan organik tanah (Mawardi Ikhwanuddin et al, 2022).



Pengukuran cadangan karbon yang dilakukan secara berkala dapat melihat apakah ada penurunan atau peningkatan yang bisa digunakan sebagai bahan evaluasi. Peningkatan jumlah serapan karbon tidak hanya mengendalikan gas rumah kaca tetapi juga bermanfaat bagi produktivitas pertanian dan kehutanan. Jumlah karbon yang mungkin dapat disimpan di dalam tanah mencerminkan keseimbangan antara pasokan dan kehilangan dan dipengaruhi oleh tipe tanah (komposisi mineral tanah dan tekstur), iklim (curah hujan, suhu), dan praktik-praktik pengelolaan lahan. Praktik-praktik pengelolaan yang direkomendasikan untuk membangun atau meningkatkan simpanan/sekuestrasi karbon di dalam tanah pada dasarnya adalah semua yang meningkatkan pasokan bahan organik ke dalam tanah atau menurunkan laju dekomposisi bahan organik tanah.

Implikasi kebijakan dalam pengelolaan area industri suatu kawasan diharapkan mampu menjaga produktivitas industrinya namun di sisi lain juga mampu menekan pertumbuhan emisi CO₂. Dalam merumuskan sebuah implikasi kebijakan penataan ruang, (Dina Labiba et al, 2018). Untuk menjaga keseimbangan itu maka penghitungan kuantitas penyerapan karbon maka dari itu, penghitungan penyerapan karbon per satuan luas perlu untuk



dikembangkan dan digalakkan agar daya serap karbon di Indonesia bisa diketahui dan bisa dibawa ke perundingan International (Mawardi Ikhwanuddin et al, 2022).

4. Pengelolaan Hutan Berbasis Cadangan Karbon

Cadangan karbon yang diestimasi dengan akurat dapat membantu hutan atau lahan memperoleh sertifikat karbon. Ini dapat diperdagangkan dalam pasar karbon untuk mendukung proyek-proyek pelestarian hutan dan pengurangan emisi. Untuk mengatasi laju pemanasan global, maka emisi/pelepasan gas rumah kaca ke atmosfer harus dikendalikan. Berbagai komitmen dibuat oleh negara-negara untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Salah satu komitmen bersama itu tertuang pada Protokol Kyoto yang diadopsi pada tahun 1997 dan mulai berlaku pada 2005 dan perdagangan karbon merupakan salah satu skema target pengurangan emisi gas rumah kaca (Tampubolon Rossi Margareth, 2022).

Perdagangan karbon merupakan kegiatan jual beli sertifikat pengurangan emisi karbon dari kegiatan mitigasi perubahan iklim. Perdagangan karbon yang dimaksud adalah dengan menggunakan bursa kredit karbon. Kredit karbon (*carbon credit*) adalah representasi dari hak bagi sebuah perusahaan untuk mengeluarkan sejumlah emisi karbon atau gas rumah



kaca lainnya dalam proses industrinya. Satu unit kredit karbon setara dengan penurunan emisi 1 ton karbon dioksida (CO₂). Kredit karbon menjadi unit yang diperdagangkan dalam pasar karbon untuk kegiatan *carbon offset* (ICDX, 2021). Kredit karbon berasal dari proyek sukarela yang melakukan pengurangan emisi seperti pembangunan turbin, proyek pengurangan metana atau pemulihan hutan.

Perdagangan karbon dapat diperjualbelikan di pasar/bursa karbon. Terdapat 2 (dua) jenis pasar karbon. Pasar jenis pertama adalah pasar yang operasionalnya mengikuti regulasi resmi yang berlaku secara nasional/internasional, pasar ini disebut dengan istilah *compliance market*. Pasar kedua adalah pasar yang operasionalnya di luar regulasi resmi nasional/internasional dan dibangun atas dasar sukarela untuk mendukung penurunan emisi karbon, pasar ini disebut dengan istilah *voluntary market*. Pasar karbon dibangun untuk memfasilitasi negara-negara yang ingin melakukan kompensasi atas emisi karbon mereka. Sistem ini juga dibuat dengan harapan bahwa upaya penurunan emisi karbon dapat dilihat sebagai sesuatu yang menarik dan menguntungkan, sehingga mendukung usaha pengendalian pemanasan global (Tampubolon Rossi Margareth, 2022).



B. Prinsip Pengelolaan Karbon dalam Hutan

Salah satu peranan hutan sebagai fungsi perlindungan dalam konteks perubahan iklim adalah sebagai penyimpan karbon/rosot karbon (*carbon sink*) yaitu vegetasi hidup di dalam hutan melalui proses fotosintesis mampu menyerap gas CO₂ dan menyimpannya dalam bentuk biomassa. Di samping pengendalian terhadap laju deforestasi, upaya mitigasi perubahan iklim dilakukan untuk mengedepankan fungsi hutan sebagai *carbon sink*, yaitu meningkatkan produktivitas kemampuan hutan dalam mereduksi emisi CO₂ di atmosfer dan menyimpannya sebagai cadangan karbon (*carbon stock*).

Hutan berperan penting dalam menyerap karbon dioksida (CO₂) dari udara. Konservasi hutan, penghijauan, dan restorasi lahan-lahan yang terdegradasi dapat membantu mempertahankan cadangan karbon yang ada. Kementerian Kehutanan dengan pendekatan prinsip PHPL melakukan uji coba pembangunan model pengelolaan hutan produksi pada areal bekas tebangan melalui proyek Pembangunan Model Unit Manajemen Hutan Meranti (PMUMHM). Proyek Pembangunan Model Unit Manajemen Hutan Meranti (PMUMHM) di empat provinsi berbeda yang mewakili karakteristik hutan berbeda, yaitu Sumatera Barat (lahan pegunungan), Kalimantan Barat (lahan gambut), Kalimantan Timur (lahan bekas kebakaran) dan Kalimantan Selatan (lahan dataran rendah). Kegiatan yang



dilaksanakan pada model ini meliputi penerapan sistem silvikultur intensif (TPTI Intensif) atau yang lebih dikenal dengan SILIN, yang lebih mengutamakan kegiatan pemeliharaan intensif terhadap tegakan yang diharapkan dapat meningkatkan produktivitas hutan (Yunita Lia, 2016).

SILIN merupakan sebuah teknik silvikultur yang bertujuan meningkatkan produktivitas lahan yang tercermin dari peningkatan riap dan potensi tegakan, menjaga keseimbangan ekologi dengan mempertahankan keanekaragaman hayati serta memberikan jaminan kepastian hukum dan keamanan berusaha melalui pengakuan tenurial dari berbagai pihak. Sementara secara teknis, SILIN adalah teknik silvikultur yang berusaha memadukan tiga elemen utama silvikultur, yaitu (1) pembangunan hutan tanaman dengan jenis terpilih dan kemudian melakukan pemuliaan jenis, (2) elemen manipulasi lingkungan bagi optimalisasi pertumbuhan, dan (3) elemen pengendalian hama terpadu (Yunita Lia, 2016).

Karbon pohon merupakan salah satu sumber karbon yang sangat penting pada ekosistem hutan, karena sebagian besar karbon hutan berasal dari biomassa pohon. Pohon merupakan proporsi terbesar penyimpanan C di daratan. Pengukuran biomassa pohon pada penelitian ini dilakukan dengan cara tidak langsung, yaitu dengan menggunakan persamaan alometrik yang didasarkan pada pengukuran diameter batang. Untuk meningkatkan ketelitian, alometrik



lokal dapat 190 Jurnal Hutan Tropis Volume 4 No. 2, Edisi Juli 2016 dikembangkan berdasarkan kondisi tapak maupun jenis atau kelompok jenis (Basuki, et al., 2009 dalam Yunita Lia, 2016).

Setiap tegakan hutan memiliki serapan karbon yang berbeda. Karbon tersebut dipengaruhi oleh kerapatan tegakan, umur tegakan, jumlah tegakan dalam suatu strata dan faktor lingkungan tempat tegakan tersebut hidup. Sesuai dengan pernyataan Nowak dan Crane (2002) Beragamnya variasi karbon yang tersimpan dipengaruhi oleh jumlah tegakan, penyusun tegakan serta luasan tempat areal tersebut tumbuh. Karena semakin besar jumlah tegakan pada suatu areal serta kerapatan tegakan tinggi maka nilai biomassa dan karbon pada areal tersebut memiliki nilai yang tinggi juga dibandingkan dengan suatu areal dengan tegakan yang lebih sedikit dengan kerapatan tegakan yang lebih rendah memiliki hasil potensi dan biomassa yang kecil juga, disisi lain besarnya nilai diameter batang dipengaruhi oleh struktur dan komposisi vegetasi tersebut. Pengelolaan hutan yang dilakukan sesuai dengan prinsip-prinsip kehutanan mampu meningkatkan pertumbuhan dan luas kawasan hutan yang tentunya akan berdampak pada nilai cadangan karbon yang diserap oleh tegakan.

Kegiatan deforestasi dan degradasi hutan dan aktivitas industri berbahan bakar fosil serta sektor



transportasi dinilai telah memberikan kontribusi dalam peningkatan emisi karbon dioksida (CO₂) di atmosfer sehingga memicu pada pemanasan global dan perubahan iklim bumi (Baharuddin and Daud, 2013; Daud, et.al., 2012 dalam Daud et a 2014). Untuk mengatasi permasalahan ini, peran hutan sebagai penyerap karbon dioksida (CO₂) dan menyimpannya dalam bentuk biomassa harus terus dipertahankan dan ditingkatkan dengan cara pembuatan hutan tanaman dan melakukan penanaman kembali hutan-hutan yang gundul, kegiatan rehabilitasi mampu meningkatkan kembali kemampuan suatu lahan dalam menyerap dan menyimpan cadangan karbon secara berkala. Adanya peningkatan emisi karbon dioksida (CO₂) akibat deforestasi dan degradasi hutan serta adanya upaya mitigasi melalui upaya konservasi dan pembangunan hutan, maka kuantifikasi atau perhitungan persediaan karbon hutan perlu dilakukan. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui dan mengevaluasi pengurangan emisi karbon dioksida (CO₂) di dunia terutama di Indonesia. Hal paling mendasar yang perlu disiapkan untuk menyusun strategi dalam rangka pengurangan emisi gas rumah kaca (GRK) adalah dengan cara mengetahui besarnya cadangan karbon di setiap peruntukan lahan dan potensi perubahan cadangan karbon akibat aktivitas manusia.

Prinsip pengelolaan cadangan karbon juga dapat diterapkan pada praktik pertanian berkelanjutan seperti



agroforestri yang merupakan gabungan dari sistem pertanian dan kehutanan. Praktik pertanian berkelanjutan memiliki beberapa sistem pola tanam, salah satunya adalah agroforestri. Pengelolaan lahan agroforestri dengan mengupayakan budi daya pohon dengan spesies tanaman pertanian (Nair 1993 dalam Lestari KW, & Dewi N, 2023). Dapat dilakukan budi daya tanaman menggunakan sistem agroforestri seperti budi daya kopi, karet. Sistem tersebut menjadi solusi alternatif dalam pengelolaan tanaman secara monokultur yang cenderung menyebabkan permasalahan ekologi (Hairiah et al. 2003 dalam Lestari KW, & Dewi N, 2023).



Gambar 5.1 Sistem Agroforestri
Sumber: Bidura IGNG, 2017

Intensifikasi model agroforestri dalam penggunaan tegakan pohon mengindikasikan adanya keanekaragaman hayati yang berdampak pada strategi pengendalian perubahan iklim (Oderinde et al. 2021). Pengendalian perubahan iklim oleh agroforestri terjadi adanya mitigasi



konsentrasi Gas Rumah Kaca (GRK) di atmosfer. Konsentrasi CO₂ mampu menyumbang sekitar 75% sebagai komposisi GRK yang ditemukan di atmosfer (Rawung 2015). Tanaman berkayu dalam manajemen model agroforestri memanfaatkan CO₂ sebagai bahan fotosintesis. Penggunaan sistem agroforestri merupakan wujud pertanian berkelanjutan dengan potensi biomassa dan simpanan karbon tegakan sebesar 7,3 hingga 16,4 kali lebih besar dibandingkan penggunaan lahan monokultur (Ma'ruf 2017). Selain itu metode pertanian yang berkelanjutan, seperti pertanian organik, rotasi tanaman, dan penggunaan pupuk hijau, dapat membantu dalam menyimpan karbon di tanah dan mengurangi emisi gas rumah kaca.

C. Pengelolaan Konsumsi Energi dan Emisi

Salah satu akibat dari kerusakan lingkungan adalah perubahan iklim yang disebabkan oleh efek gas rumah kaca. Efek gas rumah kaca sendiri berasal dari emisi CO₂, N₂O, dan CH₄. Emisi CO₂ merupakan gas yang paling besar jumlahnya dalam meningkatkan efek gas rumah kaca yang pada akhirnya dapat menyebabkan perubahan iklim. Selain itu penggunaan energi atau konsumsi energi juga dapat menjadi penyebab perubahan iklim karena dalam kegiatan pembangunan ekonomi juga dekat kaitannya dengan penggunaan energi. Bahan bakar fosil memenuhi lebih dari 70% pertumbuhan permintaan energi di seluruh dunia.



Permintaan gas alam meningkat paling banyak, mencapai rekor tertinggi 22% dari total permintaan energi. Pertumbuhan energi yang sangat penting terlihat di Asia Tenggara (yang menyumbang 8% dari pertumbuhan permintaan energi global) (International Agency Energy, 2019).

Perhutanan atau tumbuhan menyimpan emisi CO₂ begitu pula dengan laut yang juga menimbulkan emisi CO₂. Selain hal tersebut bencana seperti kebakaran hutan juga dapat menyebabkan peningkatan emisi CO₂. Dengan total emisi CO₂ yang tinggi maka dapat mempengaruhi negara atau individu dalam menentukan berapa total dalam melakukan konsumsi energi. Selain itu konsumsi energi juga dapat mempengaruhi emisi CO₂ karena pada saat konsumsi bahan bakar fosil yang tinggi dan maka emisi CO₂ akan tinggi juga mengingat konsumsi bahan bakar fosil mampu meningkatkan emisi CO₂ menjadi tinggi (Arista, T, R & Amar S, 2019). Jika konsumsi energi meningkat jauh lebih cepat daripada produksi energi, itu akan berkontribusi pada emisi CO₂ (MirzaFM, 2017).

Semakin tinggi pertumbuhan ekonomi suatu daerah maka semakin meningkat pula penggunaan konsumsi energi pada daerah tersebut. Hal ini dikarenakan setiap aktivitas masyarakatnya membutuhkan energi, sedangkan disisi lain sumber energi semakin menipis, sebagaimana halnya energi yang dipakai setiap hari. Semakin berkurang sumber



energi tersebut, maka akan menyebabkan krisis energi di seluruh Indonesia, kondisi ini terjadi dikarenakan permintaan energi yang semakin meningkat, sedangkan ketersediaan jumlah energi semakin sedikit (Kartika SA, 2018). Konservasi energi adalah upaya sistematis, terencana, dan terpadu guna melestarikan sumber daya energi dalam negeri serta meningkatkan efisiensi pemanfaatannya. Dalam kaitannya konservasi energi untuk mencapai tercapainya ketahanan energi nasional, pemerintah telah menerbitkan berbagai regulasi mulai dari yang tertinggi yaitu Undang-Undang No. 30 Tahun 2007 tentang Energi, Peraturan Pemerintah No. 70 Tahun 2009 tentang Konservasi Energi, Instruksi Presiden dan berbagai peraturan menteri sebagai petunjuk operasionalnya.

Jejak karbon merupakan suatu ukuran jumlah total dari hasil emisi karbon dioksida secara langsung (primer) maupun tidak langsung (sekunder) yang disebabkan oleh aktivitas atau akumulasi dari penggunaan produk dalam kehidupan sehari-hari (Wiedmann and Minx, 2008 dalam Wulandari, M,T et al 2013). Jejak karbon primer merupakan ukuran emisi CO₂ yang bersifat langsung. Jejak karbon primer didapat dari hasil pembakaran bahan bakar fosil seperti dari memasak dan transportasi. Setiap kegiatan atau aktivitas yang menggunakan bahan bakar dapat menghasilkan jejak karbon yang berbeda-beda tergantung dari lama penggunaan bahan bakar seperti LPG (liquid



petroleum gas), minyak tanah maupun bahan bakar kendaraan dalam kehidupan sehari-hari (Wulandari, M,T et al 2013).

Jejak karbon sekunder merupakan emisi CO₂ yang bersifat tidak langsung. Jejak karbon sekunder dihasilkan dari peralatan-peralatan elektronik rumah tangga di mana peralatan elektronik ini dapat berfungsi dengan menggunakan daya listrik. Hal ini didapat dari daur hidup dari produk-produk yang kita gunakan, seperti konsumsi listrik. Jumlah penduduk dunia terus meningkat setiap tahunnya, sehingga peningkatan kebutuhan energi pun tak dapat dielakkan. Dewasa ini, hampir semua kebutuhan energi manusia diperoleh dari konversi sumber energi fosil, misalnya pembangkitan listrik dan alat transportasi yang menggunakan energi fosil sebagai sumber energinya (Wulandari, M,T et al 2013).

Efisiensi merupakan salah satu langkah dalam pelaksanaan konservasi energi. Efisiensi energi adalah istilah umum yang mengacu pada penggunaan energi lebih sedikit untuk menghasilkan jumlah layanan atau *output* berguna yang sama. Konservasi dalam pemanfaatan energi menyebutkan pemanfaatan energi oleh pengguna sumber energi dan pengguna energi wajib dilakukan secara hemat dan efisien (ESDM *and* ESP3, 2016). Penggunaan konsumsi energi yang besar juga akan menimbulkan emisi CO₂ yang besar juga, salah satu cara untuk mengatasi hal



tersebut adalah menghemat penggunaan energi. Dalam lingkup kehutanan, adanya hutan mampu membantu menyerap emisi CO₂ yang dihasilkan dari penggunaan energi.

Keberadaan hutan mampu mengendalikan konsentrasi karbon hasil dari emisi yaitu dengan penanaman jenis tanaman berkayu yang mudah tumbuh pada lahan yang kosong dapat mengendalikan konsentrasi karbon yang berlebihan di atmosfer bumi. Tanaman berkayu dapat menyerap karbon dalam bentuk biomassa kayu yang tersebar pada tegakan, 51% biomassa kayu tersimpan pada bagian batang, sisanya cabang atau ranting sebesar 27% kemudian akar sebesar 16% dan bagian daun sebesar 0,05% (Yamani. 2013), ditambah lagi pernyataan dari Arief (2005) bahwa kurang lebih 90% biomassa berbentuk batang, dahan, daun, akar dan serasah, hewan, dan jasad renik.



DAFTAR PUSTAKA

- [CIFR] Center for International Forestry Research. 2010. *REDD: Apakah itu? Pedoman CIFOR tentang hutan, perubahan iklim dan REDD*. Bogor: CIFOR.
- [SNI]. 2011. *Standar Nasional Indonesia. Pengukuran dan Penghitungan Cadangan Karbon- Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan (Ground Based Forest Carbon Accounting)*. Badan Standarisasi Nasional.
- Abdullah UH, Sufardi S, Syafruddin S, Arabia T. 2022. *Soil organic karbon of grassland and bush forest on dryland in Aceh Besar District, Indonesia*. Biodiversitas 23(5): 2594-2600. DOI: 10.13057/biodiv/d230541
- Arief, A. 2005. *Hutan dan Kehutanan*. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- Arifin, J., 2001. *Estimasi Penyimpanan C Pada Berbagai Sistem Penggunaan Lahan di Kecamatan Ngantang, Malang, Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas rawijaya, Malang, 61pp*
- Arista TR, & Amar S. 2019. Analisis Kausalitas Emisi CO₂, Konsumsi Energi, Pertumbuhan Ekonomi dan Modal Manusia di ASEAN. *Jurnal Kajian Ekonomi dan Pembangunan Vol 1 (2) : 519 - 532*
- Asner GP, Brodrick PG, Philipson C, Vaughn NR, Martin RE, Knapp DE, Heckler J, Evans LJ, Jucker T, Goossens B,



et al. 2018. *Mapped aboveground karbon stocks to advance forest conservation and recovery in Malaysian Borneo.* *Biol. Conserv* 217: 289–310. DOI:10.1016/j.biocon.2017.10.020

Azham Zikri. 2015. Estimasi Cadangan Karbon Pada Tutupan Lahan Hutan Sekunder, Semak dan Belukar di Kota Samarinda. *Jurnal Agrifor XIV* (2).

Besar NA, Suardi H, Phua MH, James D, Mokhtar M, Ahmed MF. 2020. *Karbon stock and sequestration potential of an agroforestry system in Sabah, Malaysia.* *Forest* 11(2): 210. DOI: 10.3390/f11020210

Bidura, IGNG. 2017. *Agroforestry Kelestarian Lingkungan. Buku Ajar.* Fakultas Peternakan Universitas Udayana, Denpasar.

BPS Kabupaten Hulu Sungai Selatan. 2021. *Kecamatan Loksado Dalam Angka 2021.* Kalimantan Selatan

Brown, S. 1997. *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forest. A Primer.* FAO. Forestry Paper No. 134:124–145.

BSN (Badan Standardisasi Nasional). 2011. *SNI 7724: Pengukuran dan Penghitungan Cadangan Karbon –Pengukuran lapangan untuk penaksiran cadangan karbon hutan (ground based forest karbon accounting).* Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

Campbell, N. A., Reece, J. B., and Mitchell, L. G. 2002. *Biologi.* Penerbit Erlangga. Jakarta

Chave, J., Mechain, M. R., Burquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B. C., Dugue, A., Eid, T., Fearnside, P. M., Goodman, R. C., Henry, M., Yrizar, A. M., Mugasha, W. A., Landau, H. C. M., Mencuccini, M., Nelson, B. W., Ngomanda, A., Nogueira, E. M., Malavessi, E. O., Pelissier, R., Ploton, P., Ryan, C. M.,



- Soldarriaga, J. G., and Vieilledent, G. 2014. *Improved Allometric Models to Estimate the Aboveground Biomass of Tropical Trees*. *Global Change Biology* 20: 3177-3190. DOI: 10.1111/gcb.12629
- Daud, Latifah H, & Hikmah. 2014. Potensi Biomassa, Cadangan Karbon dan Serapan Karbon Dioksida pada Kebun Rasa Massenrempulu Enrekang. *Jurnal Matoa Vol 2 (3) : 54 - 63*
- Dayamba SD, Djoudi H, Zida M, Sawadogo L, Verchot L. 2016. *Biodiversity and karbon stocks in different land use types in the Sudanian Zone of Burkina Faso, West Africa*. *Agriculture, Ecosystem, and Environment* 216: 61-72. DOI: 10.1016/j.agee.2015.09.023
- Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Pusat Data dan Informasi Sumber Daya Mineral dan Energi, 2008. *Handbook of Energy & Economic Statistic of Indonesia*, Jakarta.
- Dewan Nasional Perubahan Iklim. 2013. *Pengantar Pasar Karbon Untuk Pengendalian Perubahan Iklim*. Jakarta.
- Dharmawan, I. W. E., Suyarso., Ulumudin, Y. I., Prayudha, B dan Pramudji. 2020. *Panduan Monitoring Struktur Komunitas Mangrove di Indonesia*. COREMAP-CTI. Pusat Penelitian Oseanografi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Bogor
- Dharmawan, I. W.S ., and Samsuudin, I. 2012. Dinamika Potensi Biomassa Karbon pada Lanskap Hutan Bekas Tebangan di Hutan Penelitian Malinau. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan* 9(1): 12-20. DOI: 10.20886/jpsek.2012.9.1.12-20
- Dina Labiba dan Wisnu Pradoto, 2018. Sebaran emisi CO₂ dan implikasi terhadap penataan ruang area industri di Kendal. *Jurnal Pengembangan Kota, Vol. 6 No. 2 (164-*



173).

Etigale, E. B., Akindale S. O. dan Adekunle V. A. J. 2021. *Development of Allometric Equations for estimating Frond Biomass of Nipa Palm (Nypafruticans Wurmb) in the Mangrove Forest of Cross River State, Nigeria*. Proceedings of the 7 th Biennial Conference of the Forest & Forest Products Society: Held at University of Uyo, Uyo, Nigeria.

Fahrianoor, Windari T, Taharuddin, Ruslimar'i, Maryono. 2013. The practice of local wisdom of dayak people in forest conservation in South Kalimantan. *Indonesian Journal of Wetlands Environmental Management* 1(1): 33-41. DOI: 10.20527/jwem.01.01.01

Firdaus H. 2013. *Nilai Ekonomi Total dan Analisis Multi Stakeholder Hutan Rakyat di Kecamatan Giriwoyo Kabupaten Wonogiri Jawa Tengah*. [Skripsi]. Bogor: Fakultas Ekonomi dan Manajemen, Institut Pertanian Bogor.)

Hairiah. 2007. *Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Macam Penggunaan Lahan*. World Agroforestry Centre – ICRAF Southeast Asia. Hal 30.

Han G, Li F, Tang Y. 2015. *Variations in soil organic karbon contents and isotopic compositions under different land uses in a typical karst area in Southwest China*. *GeochemJ* 49(1): 63-71. DOI: 10.2343/geochemj.2.0331

Handayani, H., Kusholany, K., & Saputra, R. (2021). ANALISA VEGETASI HUTAN KOTA DI JAKARTA. *BIO-SAINS: Jurnal Ilmiah Biologi*, 1(1), 1-7.

Harris, J. M., & Roach, B. (2021). *Environmental and Natural Resource Economics (Fifth)*. New York. Routledge Taylor & Francis Group.

Heriyanto, N. M., and Subiandono, E. 2012. Komposisi dan



Struktur Tegakan, Biomassa dan Potensi Kandungan Karbon Hutan Mangrove di Taman Nasional Alas Purwo. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam* 9(1): 023-032. DOI: 10.20886/jphka.2012.9.1.023-032

Ikhsan M. 2013. *Estimasi simpanan karbon di atas permukaan lahan reklamasi PT ANTAM UBPE Pongkor, Provinsi Jawa Barat [skripsi]*. Bogor (ID): Departemen Silviculture, Fakultas Kehutanan, IPB.

Indriyanto, 2006. *Ekologi Hutan*. PT Bumi Aksara, Jakarta.

International Agency Energy. (2019, Maret 24). *CO2 Emissions*. Retrieved from International Agency Energy: <https://www.iea.org/k3k0/emissions/>

IPCC (Internasional Panel on Climate Change). 2006. *IPCC Guidelines for National Green House Gas Inventories Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use*. Prepared by the National Green House Gas Inventories Programme.

IPCC. 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, and C.E. Hanson (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge.

Jose S, Bardhan S. 2012. *Agroforestry for biomass production and karbon sequestration: an overview*. *Agroforest Syst* 86: 105–111. DOI: 10.1007/s10457-012-9573-x

Kartika, Siska Ayu. 2018. Analisis Konsumsi Energi dan Program Konservasi Energi (Studi Kasus: Gedung Perkantoran dan Kompleks Perumahan). *Jurnal Sebatik Vol 22 (2) : 24 - 27*



- Karyati, Ipor IB, Jusoh I, Wasli ME, Seman IA. 2013. *Composition and diversity of plant seedlings and saplings at early secondary succession of fallow lands in Sabal, Sarawak*. Acta Biologica Malaysiana, 2(3): 85-94 DOI: 10.7593/abm/2.3.85
- Karyati, Widiati KY, Karmini, Mulyadi R. 2021. *The allometric relationships for estimating aboveground biomass and karbon stock in an abandoned traditional garden in East Kalimantan, Indonesia*. Biodiversitas 22(2): 751-762. DOI: 10.13057/biodiv/d220228
- Kauffman, J. B. dan Donato, D. C. 2012. *Protocols For the Measurement, Monitoring and Reporting of Structure, Biomass and Karbon Stocks In Mangrove Forests*. Bogor : Center for International Forestry Research.
- Ketterings, Q. M., Coe, R., van Noordwijk, M., & Palm, C. A. (2001). *Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting aboveground tree biomass in mixed secondary forests*. Forest Ecology and management, 146(1-3): 199-209.
- Krisnawati H., Adinugroho. W.C., dan Imanuddin R. 2012. *Monograf Model-Model Allometrik untuk Pendugaan Biomassa Pohon pada Berbagai Tipe Ekosistem Hutan di Indonesia*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. Bogor.
- Krisnawati, H. (2010). *Status Data Stok Karbon Dalam Biomas Hutan Di Indonesia*. In N. Masripatin & C. Wulandari (Eds.), *REDD+ & Forest Governance* (pp. 23-43). Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim dan Kebijakan.
- Kristian K, Harahab, N., Hakim, A., & batoro, jati. (2019). *Shifting cultivation model: an environmental and sustainable agricultural management practice*. Archives of Business Research, 7(4), 1–10 DOI:



10.14738/abr.74.6353

- Kumar L, Mutanga O. 2017. *Remote Sensing of Above-Ground Biomass" Remote Sensing 9, no. 9: 935. DOI: 10.3390/rs9090935*
- Lestari, K, W & Nilasri, D. 2023. Potensi Simpanan Karbon pada Beberapa Tipe Agroforestru Bebas Kopi Robusta di Desa Rowosari, Jember. *Jurnal Silvikultur Tropika Vol 14 (2) : 150 -157*
- Lestari, T. L., Ilham, W., & Asy'ari, M. (2020). Estimasi Kandungan Karbon Pada Berbagai Tingkat Kerapatan Vegetasi di Lahan Gambut Kecamatan Aluh-Aluh. *Jurnal Sylva Scientiae, 2(5), 875-882.*
- Ma'ruf A. 2017. Agrosilvopastura sebagai Sistem Pertanian Terencana Menuju Pertanian Berkelanjutan. *Jurnal Penelitian Pertanian Bernas, 13(2): 81-90.*
- Manuri Solichin., Putra, C, A, S., & Saputra, A, D. 2011. *Teknik Pendugaan Cadangan Karbon Hutan*. Merang REDD Pilot Project, German International Cooperation – GIZ. Palembang.
- Mardiyatmoko Y. dan Suhardirman A. 2017. Cadangan Karbon di Wilayah Perkotaan Tenggara Berdasarkan Metode Klasifikasi NDVI Pada Citra Sentinel. *Jurnal Hutan Tropika Vol 1 (2) : 1174 – 1181*
- Mariana, M., & Wardani Warso, F. (2016). Analisis komposisi dan struktur vegetasi untuk menentukan indeks keanekaragaman di Kawasan Hutan Kota Pekanbaru. *Bio-Lectura: Jurnal Pendidikan Biologi, 3(2), 90-96.*
- Mawardi Ikhwanuddin., Winanti, W, S., Sudinda, T, W., & Alimin, A. 2022. Analisis Capaian Nol Bersih Emisi Karbon Sebagai Acuan Indonesia Dalam Pemenuhan



Komitmen Mitigasi Perubahan Iklim. *Jurnal Sains dan Teknologi Mitigasi Bencana Vol 16 (2) : 71 – 89*

Mirza, F. M. (2017). *Energy Consumption, Carbon Emissions and Economic Growth in Pakistan: Dynamic Causality Analysis*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 72, 1233–1240.

Mitsch, W. J., Bernal, B., Nahlik, A. M., Mander, Ü., Zhang, L., Anderson, C. J., Brix, H. (2013). *Wetlands, karbon, and climate change*. *Landscape Ecology*, 28(4), 583–597. <https://doi.org/10.1007/s10980-012-9758-8>

Muhaimin M, Saputra AN, Angriani P, Sidharta A, Arisanty D. 2021. *Mapping of shifting cultivation (gilir balik) patterns in Dayak Meratus Tribe*. Paper presented at the The 2nd International Conference on Social Sciences Education (ICSSE 2020). DOI: 10.2991/assehr.k.210222.080

Natalia, D., Yuwono, S. B., and Qurniati, R. 2014. Potensi Penyerapan Karbon pada Sistem Agroforestri di Desa Pesawaran Indah Kecamatan Padang Cermin Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung. *Jurnal Sylva Lestari* 2(1): 11–20. DOI: 10.23960/jsl1211-20

Nedhisa, Priadhitya Ilham dan Tjahjaningrum, Indah Trisnawati. 2019. Estimasi Biomassa, Stok Karbon dan Sekuestrasi Karbon Mangrove pada *Rhizophora mucronata* di Wonorejo Surabaya dengan Persamaan Allometrik. *Jurnal Sains dan Seni ITS Vol. 8 (2) : 2337 – 3520*.

Nowak, D.J. dan D.E. Crane. 2002. *Karbon storage and sequestration by urban trees in the USA*. *Environmental pollution* 116: 381-389

Nunes LJR, Meireles CIR, Pinto Gomes CJ, Almeida Ribeiro NMC. 2019. Forest Management and Climate Change Mitigation: A Review on Karbon Cycle Flow Models for



the Sustainability of Resources. *Sustainability* 11(19): 5276. DOI: 10.3390/su11195276

Oderinde F, Afolayan OS. 2021. Evaluation of the Capacity of Agroforestry of Cocoa Trees in Atmospheric Carbon Dioxide Reduction. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 25(7): 1231-12 37. Qirom MA, Yuwati TW, Santosa PB

Ogle SM, Olander L, Wollenberg L, Rosenstock T, Tubiello F, Paustian K, Buendia L, Nihart A, Smith P. 2014. *Reducing greenhouse gas emissions and adapting agricultural management for climate change in developing countries: providing the basis for action*. *Glob. Change Biol.* 20, 1–6. DOI: 10.1111/gcb.12361.

Oktavia D, Pratiwi SD, Munawaroh S, Hikmat A, Hilwan I. 2021. *Floristic composition and species diversity in three habitat types of heath forest in Belitung Island, Indonesia*. *Biodiversitas* 22(12): 5555-5563. DOI: 10.13057/biodiv/d221240

Pengukuran lapangan untuk penaksiran cadangan karbon hutan (*ground based forest karbon accounting*) Nomor 7724. Jakarta.

Priyadarshini, R. 1999. “*Estimasi modal C (C - stock) Masukan bahan organik dan hubungannya dengan jumlah individu cacing tanah pada sistem wanatani*”. Thesis. Malang: Program Pasca Sarjana UNIBRAW.

Purnobasuki Hery. 2012. *Pemanfaatan Hutan Mangrove Sebagai Penyimpan Karbon*. Buletin PSL Universitas Surabaya 28: 3-5.

Purwitasari H. 2011. *Model Persamaan Allometrik Biomassa Dan Masa Karbon Pohon Akasia Mangium*. Bogor, Institut Pertanian Bogor.



Puspanti A, Kusumandari A, Faida LRW, Sudaryatno. 2021. *Impact of rehabilitation and status area change on land cover and karbon storage in Paliyan Wildlife Reserve, Gunung Kidul, Indonesia*. Biodiversitas 22(9): 3964-3971. DOI: 10.13057/biodiv/d220944

Putri, A. H. M., and Wulandari, C. 2015. Potensi Penyerapan Karbon pada Tegakan Damar Mata Kucing (*Shorea javanica*) di Pekon Gunung Kemala Krui Lampung Barat. *Jurnal Sylva Lestari* 3(2): 13–20. DOI: 10.23960/jsl2313-20

Rahman FA, Qayim I, Wardiatno Y.2018. *Karbon storage variability in seagrass meadows of Marine Poton Bako, East Lombok, West Nusa Tenggara, Indonesia*. Biodiversitas 19: 1626-1631.99 DOI : 10.13057/biodiv/d190505

Rawung FC, 2015. *Efektivitas Ruang Terbuka Hijau (RTH) dalam Mereduksi Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) di Kawasan Perkotaan Boroko*. Media Matrasain, 12(2): 17-32.

Rezekiah AA, Dewi MS, Rosidah, Renaldi D, Pratiwi FS. 2021. *Estimation Of Carbon Stock In Mangrove Forest*. Academic Research International 12 (2) 147-153

Ribeiro SC, Soares CPB, Fehrmann L, Jacovine LAG, von Gadow K. 2015. *Aboveground and belowground biomass and karbon estimates for clonal Eucalyptus trees in Southeast Brazil*. Rev Árvore 39: 353- 363. DOI: 10.1590/0100-67622015000200015.

Saifullah., Suyanto., dan Jauhari A. 2021. Potensi Karbon Tersimpan Dalam Tegakan di Kecamatan Banjarbaru Utara Kota Banjarbaru. *Jurnal Sylva Scienteeae Vol. 04 (4) : 677 – 686*

Samad, A., Fithria, A., & Peran, S. B. (2020). Analisis Vegetasi



Pada Habitat Orangutan Di Hutan Haur Gading Kabupaten Hulu Sungai Utara Kalimantan Selatan. *Jurnal Sylva Scientiae*, 2(6), 968-979

Setiahadi R. 2021. *Comparison of individual tree aboveground biomass estimation in community forests using allometric equation and expansion factor in Magetan, East Java, Indonesia*. Biodiversitas 22(9): 3899-3909. DOI: 10.13057/biodiv/d220936

Siahaan Hengki & Sumadi Agus. 2017. Serapan Karbon Hutan Tana,am Krasikarpa Pada Lahan Basah Di Kabupaten Ogan Komering Ilir Sumatera Selatan. *Jurnal Penelitian Kehutanan Sumatrana Vol. 1 (1) : 33 - 41*

Siahaya ME, Hutauruk TR, Aponno HSES, Hatulesila JW, Mardhanie AB. 2016. Traditional ecological knowledge on shifting cultivation and forest management in East Borneo, Indonesia, *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 12:1-2, 14-23, DOI: 10.1080/21513732.2016.1169559

Susanto Dandun, Ruchiyat D, Sutisna M, Amirta R. 2016. *Soil and leaf nutrient status on growth of Macaranga gigantea in secondary forest after shifting cultivation in East Kalimantan, Indonesia*. Biodiversitas, 17: 409-416 DOI: 10.13057/biodiv/d170202

Sutaryo D. 2009. *Perhitungan Biomassa: Sebuah Pengantar untuk Study Karbon dan Perdagangan Karbon*. Wetlands International – Indonesia Programme.

Taeroe A, Nord-Larsen T, Stupak I, Raulund-Rasmussen K. 2015. *Allometric biomass, biomass expansion factor and wood density models for the OP42 hybrid poplar in Southern Scandinavia*. Bioenergy Res 8 (3): 1332-1343. DOI: 10.1007/s12155-015-9592-3.

Tampubolong, Rossi Margareth. 2022. *Perdagangan Karbon: Memahami Konsep Dan Implementasinya*.



- Ulianata D.H.P, abdi fithria dan setia budi peran. 2021. Estimasi biomassa dan cadangan karbon pada hutan rawa Galam (*melaleuca leucadendron linn*). *Jurnal Sylva Scienteeae* 4(4) 712-718.
- Van VN, Adams C, Vieira ICG, Mertz O. 2013. " *Slash and Burn* " and " *Shifting* " cultivation systems in forest-agriculture frontiers from the Brazilian Amazon. *Society & Natural Resources* 26: 1454-1467. DOI: 10.1080/08941920.2013.820813
- Wang Z, Du A, Xu Y, Zhu W, Zhang J. 2019. *Factors limiting the growth of eucalyptus and the characteristics of growth and water use under water and fertilizer management in the dry season of Leizhou Peninsula, China*. *Agronomy* 9 (10): 1-17. DOI: 10.3390/agronomy9100590.
- Wibowo Ari, Samsuedin Ismayadi, Nurtjahjawilasa, Subarudi, & Muttaqin Zahrul. 2013. *Petunjuk Praktis Menghitung Cadangan Karbon Hutan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim dan Kebijakan, Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan Kementerian Kehutanan Republik Indonesia dan United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO)*. Bogor.
- Wulandari MT, Hermawan, & Purwanto. 2013. *Kajian Emisi CO2 Berdasarkan Penggunaan Energi Rumah Tangga Sebagai Penyebab Pemanasan Global (Studi Kasus Perumahan Sebantengan, Gedang Asri, Susukan RW 07 Kab. Semarang)*. Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumber daya Alam dan Lingkungan.
- Yamani, A. 2013. *Studi Kandungan Karbon pada Hutan Alam Sekunder di Hutan Pendidikan Madiangin*. Universitas



Lambung Mangkurat, Banjarbaru. *Jurnal Hutan Tropis Borneo*, 1 (1). pp. 85-91. ISSN 1412-4645. <http://eprints.unlam.ac.id/id/eprint/517>

Yunita, L. 2016. Pendugaan Cadangan Karbon Tegakan Meranti (*Shorea leprosulo*) di Hutan Alam pada Area SILIN PT. INHUTANI II Pulau Laut Kalimantan Selatan. *Jurnal Hutan Tropis Vol 4 (3) : 187 - 197*

Yusi Rosalina, Kuswata Kartawinata, Nisyawati, Erwin Nurdin, Jatna Supriatna. 2013. *Kandungan karbon di hutan rawa gambut kawasan konservasi PT Nasional Sago Prima, Kepulauan Meranti, Riau*. Buletin Kebun Raya 16 (2) 115-130





PROFIL PENULIS



Arfa Agustina Rezekiah

Pendidikan sarjana di tempuh di Jurusan Manajemen Hutan Fakultas Kehutanan Universitas Lambung Mangkurat dan lulus pada tahun 1998. Menyelesaikan pendidikan magister (S-2) di Program Pascasarjana Program Studi Ilmu Kehutanan Universitas Gadjah Mada pada tahun 2006. Pendidikan program doktor (S-3) di Program Studi Pengelolaan Sumber Daya Alam Universitas Lambung Mangkurat dengan konsentrasi manajemen sumber daya hutan, lulus tahun 2023. Sejak tahun 2002 diangkat sebagai dosen pada Fakultas Kehutanan ULM bidang keilmuan manajemen sumber daya hutan. Saat ini selain mengajar, juga aktif menulis pada jurnal ilmiah nasional dan internasional.

Pengalaman penelitian yang pernah dilakukan, di antaranya *Riset Tanaman Obat dan Jamu Kementerian Kesehatan RI*; Penyusunan data dan informasi tentang manfaat dana desa; Pembuatan papan partikel dari kulit sabut buah nipah (*nyfa fruticans* wurmb) dengan tepung buah nipah sebagai eks tender pada perekat *urea formaldehyde*; Evaluasi keanekaragaman hayati flora dan fauna dalam heterogenitas spasial di sub DAS Amandit bagian hulu; Pembuatan peta dasar dan tematik skala 1:25.000 kota Banjarbaru; Kajian potensi jasa lingkungan (biomassa dan karbon) hutan



mangrove di desa Pagatan Besar Kabupaten Tanah Laut; Pekerjaan finalisasi peta revisi RT RW Kota Banjarbaru tahun 2014-2034. Buku-buku yang sudah diterbitkan diantaranya Buku Ajar “*Pelestarian Alam dan Perlindungan Margasatwa*”(editor); Buku Ajar “*Ekonomi Sumber Daya Alam dan Lingkungan*”; Buku Ajar “*Kewirausahaan Kehutanan*”.



Abdi Fithria

Pendidikan sarjana di tempuh di Jurusan Manajemen Hutan Fakultas Kehutanan Universitas Lambung Mangkurat dan lulus pada tahun 1998. Menyelesaikan pendidikan magister (S-2) di Program Pascasarjana Program Studi Ilmu Kehutanan Universitas Mulawarman pada tahun 2001. Pendidikan program doktor (S-3) di Program Studi Ilmu Kehutanan Universitas Gadjah Mada dengan konsentrasi konservasi kehutanan, lulus tahun 2012. Sejak tahun 2000 diangkat sebagai dosen pada Fakultas Kehutanan ULM bidang keilmuan konservasi sumber daya hutan. Saat ini selain mengajar, juga aktif menulis pada jurnal ilmiah nasional dan internasional.

Pengalaman penelitian yang pernah dilakukan, di antaranya adalah: Persebaran dan Karakteristik Habitat Sarang Orang Utan di Hutan Dataran Rendah Kecamatan Haur Gading Kabupaten Hulu Sungai Utara; Keragaman Flora Dan Fauna di Areal Pertambangan Batu Bara PT Jorong Barutama Greston; Evaluasi Keanekaragaman Hayati Flora dan Fauna dalam Heterogenitas Spasial di Sub DAS Amandit Bagian Hulu; Kajian Pembangunan Wisata Alam Ekosistem Gambut Blok C ex PLG Kabupaten Pulang Pisau Provinsi Kalimantan Tengah; Kajian Pembuatan Kebun Binatang Kabupaten Tanah Laut Kalimantan Selatan; Kesesuaian Habitat Bekantan di DAS Tabunio Kalimantan Selatan; Daya Dukung Habitat Bekantan (*Nasalis larvatus*) di Pulau Bakut; Desain Taman



Keanekaragaman Hayati Kabupaten Barito Utara; Profil Keanekaragaman Hayati Kabupaten Tabalong; Penggunaan Habitat oleh Bekantan (*Nasalis larvatus*) di Pulau Bakut; Ekologi Vegetasi Lahan Pasca Tambang PT Adaro Indonesia; Habitat dan Potensi Pakan Bekantan di Desa Lawahan kecamatan Tapin Selatan Kabupaten Tapin; Penyusunan Database Pemanfaatan dan Penggunaan Lahan Kelurahan Komet; Penyusunan Database Pemanfaatan dan Penggunaan Lahan Kelurahan Loktabat Utara, Mentaos, dan Sungai Ulin; Penyusunan Basis data Spasial Jaringan Jalan dan Drainase Kota Banjarbaru; Pembuatan Peta Dasar Dan Tematik Skala 1:25.000 Kota Banjarbaru. Buku-buku yang sudah diterbitkan di antaranya *Pola Arah Rehabilitasi Hutan dan Lahan (Di Sub-Sub Das Amandit Kabupaten Hulu Sungai Selatan)*; *Membangun Basis Data Spasial Menggunakan ArcGIS 10.3* (editor); *Buku Ajar “Pelestarian Alam dan Perlindungan Margasatwa”*; *Mutiara di tengah Emas Hitam: Ekosistem Burung dan Anggrek di Kintap* (editor); *Buku Ajar “Ekowisata dan Jasa Lingkungan”*.



Syam'ani

Pendidikan Sarjana di tempuh di Jurusan Manajemen Hutan Fakultas Kehutanan Universitas Lambung Mangkurat dan lulus pada tahun 2004. Menyelesaikan pendidikan magister (S-2) di Program Pascasarjana Program Studi Geografi Universitas Gadjah Mada dengan konsentrasi Pengindraan Jauh pada tahun 2008. Sejak tahun 2008 diangkat sebagai dosen pada Fakultas Kehutanan ULM bidang keilmuan manajemen sumber daya hutan. Saat ini selain mengajar, juga aktif menulis pada jurnal ilmiah nasional dan internasional.



Pengalaman penelitian yang pernah dilakukan, diantaranya Kajian Kekritisan Lahan dan Aspek Sosial Ekonomi sebagai Arahan Penentuan Urutan Prioritas Rehabilitasi Hutan dan Lahan Di Sub-Sub DAS Amandit Kalimantan Selatan; Kajian Ekologis Intensitas dan Kecenderungan Terjadinya Kebakaran Hutan dan Lahan di Kabupaten Banjar; Penyusunan Database Pemanfaatan dan Penggunaan Lahan Kelurahan Komet; Penyusunan Database Pemanfaatan dan Penggunaan Lahan Kelurahan Loktabat Utara, Mentaos, dan Sungai Ulin; Penyusunan Basis data Spasial Jaringan Jalan dan Drainase Kota Banjarbaru; Pembuatan peta dasar dan tematik skala 1:25.000 kota Banjarbaru; Delineasi otomatis hutan mangrove dari Citra LDCM menggunakan metode hibrid Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) dan Normalized Difference Water Index (NDWI); Ekstraksi Otomatis Data Spasial Wilayah Terbakar untuk Persiapan Rehabilitasi Hutan dan Lahan Pasca Kebakaran di Kawasan Suaka Alam Riam Kanan Provinsi Kalimantan Selatan; Kecenderungan kebakaran hutan dan lahan dan alternatif pengendalian berbasis kemitraan di PT. Inhutani II Kotabaru; Pemetaan Biomassa Tegakan Hutan Hujan Tropis Bukit Mandiangin Menggunakan Citra Sentinel-2; Estimasi Muatan Suspensi Air Muara Sungai Barito Berbasis Citra Sentinel-2 MSI. Buku-buku yang sudah diterbitkan di antaranya *Tutorial Aplikasi SIG Dasar: Membangun Basisdata Spasial Menggunakan ArcGIS 10.3*; *Pola Arahan Rehabilitasi Hutan dan Lahan Di Sub-Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Amandit Kabupaten Hulu Sungai Selatan*.





Yasinta Nur Shiba

Pendidikan sarjana di tempuh di Jurusan Manajemen Hutan Fakultas Kehutanan Universitas Lambung Mangkurat dan lulus pada tahun 2022. Sedang menempuh Pendidikan Magister di Program Studi Magister Kehutanan

Universitas Lambung Mangkurat dengan konsentrasi Sosiologi-Agroforestry, hingga tahun 2024. Sejak akhir tahun 2022 bekerja sebagai admin di PT Rehabilitasi Lingkungan Indonesia. Pengalaman penelitian yang pernah dilakukan, di antaranya Persepsi Pengunjung Terhadap Miniatur Hutan Hujan Tropis (MH2T) Kalimantan Selatan, Nilai Ekonomi Miniatur Hutan Hujan Tropis Kalimantan Selatan. Penelitian yang sedang dilakukan adalah Valuasi Ekonomi Lahan Berhutan di Suaka Margasatwa Pelaihari. Buku yang sudah diterbitkan di antaranya *Bijak Kelola Sampah* (Seri 1).





PROFIL EDITOR



Rosidah Radam

Kuliah Program S-1 di Universitas Lambung Mangkurat mengambil jurusan Teknologi Hasil Hutan dan melanjutkan Program S-2 di Pasca Sarjana Kampus Gunung Kelua Universitas Mulawarman Samarinda. Sejak Maret 1988 menjadi staf pengajar Fakultas Kehutanan Universitas Lambung Mangkurat Banjarbaru Kalimantan Selatan. Mata kuliah yang diampu adalah dasar-dasar biokimia, dasar-dasar teknologi hasil hutan, anatomi kayu dan keselamatan dan kesehatan kerja. Aktif dalam bidang penelitian dan pengabdian kepada masyarakat baik yang dibiayai oleh DIKTI, PNBPN, maupun BOPTN Universitas Lambung Mangkurat dengan Payung Penelitian dan Pengabdian pada masyarakat adalah tumbuhan lahan basah. menulis buku dan jurnal-jurnal baik jurnal Nasional maupun jurnal International. Buku-buku yang sudah diterbitkan di antaranya Buku Ajar “*Nilai Gizi Tepung Buah Nipah*”, Buku Ajar “*Berbagai Produk dari Tumbuhan Nipah*”, Buku Teks “*Buah Nipah dan Manfaatnya*, Buku Ajar “*Dasar-Dasar Teknologi Hasil Hutan*”, dan Buku Ajar “*Biokimia Dasar*” .

Pada tahun 2006 mendapatkan piagam penghargaan Satya Lencana Karya Satya 10 Tahun oleh Presiden RI. DR. H. Susilo Bambang Yudhoyono, pada tahun 2009 Dosen Profesional pada bidang ilmu Teknologi Hasil Hutan oleh bapak Rektor Universitas Palangkaraya atas kelulusan sertifikasi dosen dan



dinyatakan sebagai dosen profesional pada bidang ilmu Teknologi Hasil Hutan, pada tahun 2011 mendapatkan penghargaan sebagai Poster Terbaik Pada Seminar Nasional Hasil Penelitian Hibah Fundamental oleh Bapak Direktur Penelitian dan Pengabdian Pada Masyarakat : Suryo Hapsoro Tri Utomo, pada tahun 2018 mendapatkan Satya Lencana Karya Satya 20 Tahun oleh bapak Presiden RI. Ir. Joko Widodo. Dan pada tahun yang sama mendapatkan Sertifikat insinyur Profesional Madya (IPM) oleh Badan Kejuruan Teknik Kehutanan. Pengurus Pusat Persatuan Insinyur Indonesia. Dr, Ir. A Hermanto Dardak, M.Sc. IPU dan pada tahun 2019 mendapatkan Satya Lencana Karya Satya 30 Tahun oleh Bapak Presiden RI bapak Ir. Joko Widodo.



Buku *Cadangan Karbon pada Berbagai Tipe Tutupan Lahan di Kalimantan Selatan* membahas pentingnya memahami cadangan karbon dan variasi tipe tutupan lahan di wilayah tersebut yang memiliki ekosistem yang beragam. Penelitian mendalam dilakukan untuk mengukur dan menganalisis cadangan karbon serta faktor-faktor yang memengaruhinya. Dengan menggunakan metode penelitian canggih dan pengumpulan data yang sistematis, penulis menjelaskan bagaimana cadangan karbon berkembang di berbagai tipe tutupan lahan, dari hutan primer, hutan sekunder pegunungan hingga lahan gambut dan mangrove, serta Taman Hutan Hujan Tropis Indonesia (TH2TI). Analisis ini memberikan pemahaman yang mendalam tentang bagaimana dinamika ekologi dan aktivitas manusia memengaruhi cadangan karbon di Kalimantan Selatan. Selain itu, buku ini membahas pengelolaan dan peningkatan cadangan karbon serta implikasinya terhadap pengelolaan energi dan emisi. Dengan penekanan pada data empiris dan argumen ilmiah, buku ini merupakan sumber informasi berharga bagi para peneliti, pengambil kebijakan, dan praktisi yang tertarik dalam konservasi lingkungan dan mitigasi perubahan iklim, terutama di Kalimantan Selatan.

