

**ESTIMASI NILAI SIMPANAN KARBON ATAS PERMUKAAN TANAH DI
TAMAN NASIONAL WAY KAMBAS SEBAGAI PENDUKUNG *FOLU NET*
*SINK 2030***

(Skripsi)

Oleh

**Aryanti Rizki Adinda
2014151010**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

ESTIMASI NILAI SIMPANAN KARBON ATAS PERMUKAAN TANAH DI TAMAN NASIONAL WAY KAMBAS SEBAGAI PENDUKUNG *FOLU NET* *SINK* 2030

Oleh

ARYANTI RIZKI ADINDA

Indonesia merupakan salah satu negara yang terlibat dalam pengesahan Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa tentang Perubahan Iklim (*United Nations Frameworks Convention on Climate Change*, UNFCCC) yang tujuannya untuk menstabilkan emisi gas rumah kaca global ke atmosfer pada tingkat tertentu. Hutan adalah penyerap karbon terbesar dan memainkan peranan penting dalam siklus karbon global. Penelitian ini dilakukan di plot tradisional Stasiun Rawa Bunder dan plot Rawa Kidang TNWK dan apakah 2 lokasi tersebut dapat membantu capaian *folu net sink* 2030 untuk mengurangi emisi GRK. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis komposisi vegetasi dan potensi biomassa serta simpanan atau kandungan karbon yang ada di Plot Tradisional Stasiun Rawa Bunder dan Plot Rawa Kidang sebagai pendukung *folu net sink* 2030. Contoh petak yang digunakan dengan ukuran 50m×20m untuk fase pohon, 10m×10m untuk fase tiang, 5m×5m untuk fase pancang dan 2m×2m untuk tumbuhan bawah dan seresah. Hasil analisis menunjukkan pohon puspa (*Schima wallichii*) mendominasi dalam 10 plot sampel yaitu sebanyak 255 pohon. Diketahui jumlah biomassa yang ada di 2 lokasi tersebut sebesar 37.96 ton/ha dan simpanan karbon total keseluruhan karbon yang telah diteliti sebesar 17.84 ton/ha.

Kata Kunci: *folu net sink* 2030; gas rumah kaca; kawasan hutan; simpanan karbon.

ABSTRACT

By

ARYANTI RIZKI ADINDA

Indonesia is one of the countries involved in ratifying the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) whose aim is to stabilize global greenhouse gas emissions into the atmosphere at a certain level. Forests are the largest carbon sinks and play an important role in the global carbon cycle. This research was conducted in the traditional plot of Rawa Bunder Station and the Rawa Kidang plot of WKNP and whether these 2 locations can help achieve the 2030 net sink folu to reduce GHG emissions. This research aims to analyze the vegetation composition and biomass potential as well as carbon deposits or content in the Rawa Bunder Station Traditional Plot and the Rawa Kidang Plot as support for the 2030 net sink folu. Examples of plots used are 50m×20m for the tree phase, 10m×10m for the pole phase, 5m×5m for the sapling phase and 2m×2m for undergrowth and litter. The results of the analysis showed that the puspa tree (*Schima wallichii*) was dominant in the 10 sample plots, namely 255 trees. It is known that the amount of biomass in these 2 locations is 37.96 tons/ha and the total carbon storage of carbon that has been studied is 17.84 tons/ha.

Keyword: carbon storage; folu net sink 2030; forest areas; greenhouse gases.

**ESTIMASI NILAI SIMPANAN KARBON ATAS PERMUKAAN TANAH DI
TAMAN NASIONAL WAY KAMBAS SEBAGAI PENDUKUNG *FOLU NET*
SINK 2030**

Oleh

Aryanti Rizki Adinda

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Kehutanan
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Skripsi

**: ESTIMASI NILAI SIMPANAN KARBON ATAS
PERMUKAAN TANAH DI TAMAN NASIONAL WAY
KAMBAS SEBAGAI PENDUKUNG FOLU NET SINK
2030**

Nama Mahasiswa

: Aryanti Rizki Afinda

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2014151010

Jurusan

: Kehutanan

Fakultas

: Pertanian



1. Komisi Pembimbing

**Prof. Dr. Ir. Christine Wulandari, M.P., IPU.
NIP 196412261993032001**

2. Ketua Jurusan Kehutanan

**Dr. Bainah Sari Dewi, S.Hut., M.P. IPM.
NIP. 1973101219990320011**

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Prof. Dr. Ir. Christine Wulandari, M.P., IPU.**

Penguji 1 : **Dr. Ceng Asmarahman, S.Hut., M.Si.**

Penguji 2 : **Arief Darmawan, S.Hut., M.Si., Ph.D.**

2. Dekan Fakultas Pertanian

Dr. H. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.
NIP. 196411151989021002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 21 Maret 2024

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

1. Skripsi dengan judul **"ESTIMASI NILAI SIMPANAN KARBON ATAS PERMUKAAN TANAH DI TAMAN NASIONAL WAY KAMBAS SEBAGAI PENDUKUNG FOLU NET SINK 2030"** adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atas karya penulisan lain dengan cara tidak sesuai dengan norma etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut plagiarisme.
2. Pembimbing penulisan skripsi ini berhak mempublikasikan sebagian atau seluruh skripsi ini pada jurnal ilmiah dengan mencantumkan nama saya sebagai salah satu penulisnya.
3. Hak intelektual atas karya ilmiah ini diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung.

Apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya, dan saya bersedia dan sanggup dituntut sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 21 Maret 2024

Pembuat Pernyataan



5B578AKX856604700

Aryanti Rizki Adinda
NPM 2014151010

RIWAYAT HIDUP



Penulis atas nama Aryanti Rizki Adinda, dilahirkan di Way Jepara Kabupaten Lampung Timur pada tanggal 15 Juni 2002 sebagai anak keempat dari empat bersaudara, dari pasangan Bapak Jabari dan Ibu Erdawati. Penulis menempuh pendidikan Sekolah Dasar (SD) di SD Negeri 1 Way Jepara yang diselesaikan pada tahun 2014, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Negeri 1 Way Jepara yang diselesaikan pada tahun 2017, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Negeri 1 Way Jepara yang diselesaikan pada tahun 2020. Pada tahun 2020, penulis melanjutkan pendidikannya dan terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Undangan atau SNMPTN.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Jurusan Kehutanan (Himasyulva) sebagai anggota. Mengikuti magang di 2 lokasi yang pertama yaitu Taman Nasional Way Kambas (TNWK) Kabupaten Lampung Timur selama 1 bulan dan Taman Nasional Bukit Barisan Selatan (TNBBS) Kabupaten Tanggamus selama 1 bulan. Penulis juga melaksanakan kegiatan Praktik Umum (PU) di Kampus Lapangan Fakultas Kehutanan di Desa Getas, Kecamatan

Kradenan, Kabupaten Blora, Provinsi Jawa Tengah dan di Hutan Wanagama 1, Desa Banaran I, Kecamatan Playen, Kabupaten Gunung Kidul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta selama 20 hari. Penulis juga melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Bandar Dalam, Kecamatan Pulau Pisang, Kabupaten Pesisir Barat selama 40 hari. Penulis pernah memenangkan lomba Karya Tulis Ilmiah (KTI) tingkat Nasional yang dilaksanakan di Universitas Khairun pada tahun 2023 dengan judul “Feses Gajah Sebagai Pengganti Media Tanam di Taman Nasional Way Kambas”.

MOTTO

“It’s okay to not be okay, but believe me, God’s destiny is very beatiful. When God’s say Kun Fayakun then it happens”

Bismillahirrahmanirrahim,

Saya persembahkan skripsi ini kepada Ayah dan Ibu saya yang selalu memberikan ketenangan, motivasi, dan menyisihkan finansialnya, sehingga saya bisa menyelesaikan masa studi saya dan tanpa lelah sudah mendukung semua keputusan dan pilihan dalam hidup saya serta tidak pernah putus mendoakan saya. Terimakasih banyak atas dukungan dan doa Ayah, Ibu, Abang, Unni dan Eses selama ini, sementara hanya dengan ini saya bisa membalas. Saya ingin dan selalu berdoa agar kalian selalu sehat sehingga bisa merasakan kesuksesan saya di masa depan, Aamiin.

SANWACANA

Alhamdulillah, puji dan syukur kepada Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya serta shalawat dan salam kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW. Penulis dapat menyelesaikan tugas akhir (skripsi) yang berjudul “Estimasi Nilai Simpanan Karbon Atas Permukaan Tanah di Taman Nasional Way Kambas Sebagai Pendukung *Folu Net Sink 2030*”. Ucapan terimakasih yang tulus penulis sampaikan kepada pihak yang telah membimbing dan membantu kelancaran akan terselesainya skripsi ini, yaitu:

1. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P. selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
2. Ibu Dr. Bainah Sari Dewi, S.Hut.,M.P. IPM selaku Ketua Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
3. Ibu Prof. Dr. Ir. Christine Wulandari, M.P., IPU. selaku pembimbing utama yang telah banyak memberikan bantuan dan meluangkan waktu untuk memberikan arahan, bimbingan, motivasi serta saran kepada penulis dalam penyusunan skripsi.
4. Bapak Dr. Ceng Asmarahman, S.Hut., M.Si. selaku pembahas pertama yang telah memberikan masukan, saran dan bantuan dalam penyempurnaan skripsi.
5. Bapak Arief Darmawan, S.Hut.,M.Si., Ph.D. selaku pembahas kedua yang telah memberikan masukan, saran dan bantuan dalam penyempurnaan skripsi.
6. Bapak Dr. Ir. Samsul Bakri, M.Si. selaku Pembimbing Akademik yang telah membimbing dan memberikan semangat kepada penulis selama proses perkuliahan di Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

7. Kepala Balai Taman Nasional Way Kambas dan Para staff maupun pekerja disana yang telah membantu dan memberikan izin serta arahannya ketika saya mengambil data.
8. Kedua orang tua yaitu Ayah Jabari dan Ibu Erdawati serta Abang saya Arif Kurniawan, Unni saya Annisa Pratiwi, dan Eses Anggun Permata Sari. Terima kasih atas segala doa, kasih sayang, kesabaran, dan dukungan dalam kehidupan yang selama ini diberikan kepada penulis.
9. Terimakasih kepada laki-laki sebagai *Nam-Chin* yang selama ini telah menemani dalam perjalanan dan proses yang panjang dalam penyusunan skripsi.
10. *Last but not least for myself*, karena mampu berusaha keras dan selalu berjuang sejauh ini. Mampu mengendalikan diri dari berbagai tekanan diluar keadaan dan tak pernah memutuskan menyerah sesulit apapun dalam menjalani proses penyusunan skripsi sehingga dapat menyelesaikan dengan baik dan semaksimal mungkin. Ini adalah pencapaian yang patut dibanggakan untuk diri sendiri. *I'm proud of myself*.
11. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah banyak membantu dalam penyelesaian penelitian dan penyusunan skripsi.

Penulis memohon maaf jika terdapat kata yang tidak berkenan dan penulis akan sangat berterima kasih apabila terdapat kritik dan saran yang diberikan seluruh pembaca. Penulis mengharapkan skripsi ini dapat bermanfaat bagi seluruh pembaca.

Bandar Lampung, Maret 2024

Penulis

Aryanti Rizki Adinda

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR DIAGRAM	v
DAFTAR GAMBAR	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan.....	3
1.3 Kerangka Pemikiran.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian	6
2.1.1 Rawa Bunder	8
2.1.2 Rawa Kidang.....	9
2.2 Karbon	11
2.2.1 Siklus Karbon	13
2.3 Biomassa	14
2.3.1 Perhitungan Biomassa.....	16
2.4 Nekromassa	17
2.5 Serasah	18
2.6 Vegetasi	21
2.7 Pemanasan Global	23
2.7.1 Faktor-faktor Penyebab Pemanasan Global	24

2.8 Emisi Karbon	26
2.9 Folu Net Sink 2030	26
2.10 Persamaan Allometrik	27
2.11 Hutan	28
2.12 Hutan Konservasi	32
2.13 Peranan Hutan Sebagai Penyerap Karbon.....	33
2.14 Kebijakan Pemerintah dalam Pengelolaan Hutan	35
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	36
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	36
3.2 Alat dan Objek Penelitian.....	37
3.3 Pengumpulan Data	37
3.4 Metode Pengambilan Sampel.....	37
3.4.1 Pembuatan Plot Penelitian.....	37
3.4.2 Sampling Error	39
3.4.3 Indeks Nilai Penting.....	39
3.4.3 Perhitungan Biomassa Pohon.....	40
3.4.4 Pengukuran Biomassa Tumbuhan Bawah dan Seresah.....	40
3.4.5 Pengukuran dan Penghitungan Nekromassa	41
3.4.6 Estimasi Potensi Karbon di Atas Permukaan Tanah	42
3.4.7 Perhitungan Karbon Per Hektar untuk Biomassa.....	42
3.4.8 Perhitungan Cadangan Karbon Total dalam Plot	43
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	44
4.1 Komposisi Jenis Vegetasi	46
4.2 Perhitungan Indeks Nilai Penting.....	47
4.2.1 Perhitungan Indeks Nilai Penting Fase Pohon	47
4.2.1.1 Rawa Kidang.....	47
4.2.1.2 Rawa Bunder	48
4.2.2 Perhitungan Indeks Nilai Penting Fase Tiang	51
4.2.2.1 Rawa Kidang	51
4.2.2.2 Rawa Bunder	52
4.2.3 Menghitung Indeks Nilai Penting Fase Pancang	55

4.2.3.1 Rawa Kidang.....	55
4.2.3.2 Rawa Bunder.....	56
4.3 Keseluruhan Jumlah Populasi	58
4.3 Estimasi Nilai Simpanan Biomassa	60
4. 4 Estimasi Nilai Simpanan Karbon	63
4.5 Sampling Error.....	68
V. KESIMPULAN	69
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA.....	71
LAMPIRAN.....	85

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Analisis Statistik untuk Sampling Error	39
2. Jumlah Masing-Masing Tahapan Hidup Pohon pada Plot Rawa Kidang dan Plot Tradisional Rawa Bunder	46
3. Perhitungan Biomassa di Lokasi Penelitian	61
4. Perhitungan Simpanan Karbon di Lokasi Penelitian	64
5 Hasil Perhitungan Analisis Statistik	68
6. Analisis Data Tingkat Pohon	96
7. Analisis Vegetasi Tingkat Pohon	96
8. Analisis Data Tingkat Tiang	97
9. Analisis Vegetasi Tingkat Tiang	101
10. Analisis Data Tingkat Pancang	102
11. Analisis Vegetasi Tingkat Pancang	115
12. Analisis Data Tumbuhan Bawah	116
13. Analisis Data Nekromassa	116
14. Analisis Data Seresah	117
15. Biomasa (kg/m ³)	117
16. Biomasa (ton/ha)	118
17. Karbon (ton/ha)	119

DAFTAR DIAGRAM

Diagram	Halaman
1. Indeks Nilai Penting Fase Pohon Rawa Kidang	48
2. Indeks Nilai Penting Fase Pohon Rawa Bunder	49
3. Indeks Nilai Penting Fase Pohon	50
4. Indeks Nilai Penting Fase Tiang Rawa Kidang	51
5. Indeks Nilai Penting Fase Tiang Rawa Bunder	52
6. Indeks Nilai Penting Fase Tiang	53
7. Indeks Nilai Penting Fase Pancang Rawa Kidang	56
8. Indeks Nilai Penting Fase Pancang Rawa Bunder	57
9. Indeks Nilai Penting Fase Pancang	58
10. Jumlah Populasi	59
11. Persentase Estimasi Nilai Simpanan Biomassa.....	62
12. Presentase Estimasi Nilai Simpanan Karbon	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka Pemikiran.....	5
2. Pembagian Zona Taman Nasional Way Kambas	8
3. Peta Plot Tradisional Stasiun Rawa Bunder.....	9
4. Peta Plot C Rawa Kidang.....	11
5. Peta Way Kambas.....	36
6. Contoh Skema Plot Pengambilan Data	38
7. Tingkat keutuhan pohon, tiang, dan pancang mati.....	42
8. Pengambilan Plot Sampel	86
9. Pengukuran Diameter Pohon.....	86
10. Pengambilan Sampel Seresah	87
11. Pengukuran Nekromassa	87
12. Pengambilan Sampel Tumbuhan Bawah.....	87
13. Penimbangan Sampel Seresah dan Tumbuhan Bawah.....	87
14. Pengovenan Seresah.....	88
15. Penimbangan Sampel Seresah dan Tumbuhan Bawah.....	88
16. Penimbangan Berat Kering Seresah dan Tumbuhan Bawah.....	89

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang terlibat dalam pengesahan Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa tentang Perubahan Iklim (*United Nations Frameworks Convention on Climate Change*, UNFCCC) yang tujuannya untuk menstabilkan emisi gas rumah kaca global ke atmosfer pada tingkat tertentu, sehingga iklim bumi tidak terancam punah (Kasianus *et al.*, 2018). Sebagai salah satu negara yang terlibat dalam perlindungan iklim dunia, Indonesia berperan dalam keseimbangan karbon hutan (Ginoga *et al.*, 2008). *Intergovernmental Panel on Climate Changes* atau IPCC (2006) merekomendasikan bahwa batas stok karbon minimum untuk lahan primer, sekunder dan agroforestri adalah 138 ton per hektar.

Berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan atau KLHK (2018), kawasan hutan di Indonesia meliputi area seluas 120,6 juta hektar atau sekitar 63% dari luas wilayah. Hutan ini diklasifikasikan menjadi tiga fungsi, yaitu: hutan produksi (HP) seluas 68,8 juta hektar, hutan konservasi (HK) seluas 22,1 juta hektar atau 18% dari luas hutan, dan hutan lindung (HL) seluas 29,7 juta hektar atau 25%. Salah satu yang menjadi pokok perhatian pengelolaan kawasan konservasi yang diharapkan bisa mendukung capaian UNFCCC. Upaya pencegahan terjadinya emisi gas rumah kaca yang berasal dari kawasan konservasi melalui perlindungan, pelestarian, pengawetan, dan pemanfaatan keanekaragaman hayati secara lestari, termasuk habitatnya (Birner dan Wittmer, 2003). Kondisi ekologis taman nasional yang mengalami perubahan akibat perubahan iklim akan berpengaruh terhadap

habitat dan perilaku satwa liar di dalamnya. Dengan demikian, dampak negatifnya harus diminimalisir.

Beragam upaya sudah dijalankan oleh banyak pemangku kepentingan untuk melaksanakan mitigasi dan adaptasi perubahan iklim. Salah satu upaya itu adalah dengan menjadikan ekosistem sebagai basis pendekatan untuk memenuhi komitmen pengurangan emisi dalam *nationally determine contribution* (NDC) yang terdiri dari sejumlah sektor utama, yaitu energi, pertanian, *forestry and other land uses* (FoLU), *industrial process and production use* (IPPU), dan *waste*. Semakin memburuknya tingkat perubahan iklim menjadikan para pihak tingkat global menuntut setiap negara untuk dapat menekan produksi emisi GRK secara nasional. Melalui *Paris Agreement* para negara pihak berkomitmen bersama-sama untuk menurunkan emisi GRK dan menekan laju pertambahan suhu bumi agar selalu di bawah angka 1,5°C. Sebagai komitmennya pada ratifikasi *Paris Agreement* yang telah dijalankan, Pemerintah Indonesia telah menyusun agenda penurunan GRK nasional dalam NDC. Indonesia memberikan target besar kepada sektor FoLU, yaitu sebesar 60% dari keseluruhan target penurunan emisi GRK melalui program FoLU Netsink.

Sebagai negara yang dijuluki dengan sebutan paru-paru dunia, Indonesia berkomitmen dalam upaya menekan laju peningkatan suhu permukaan bumi dengan menjadi negara bagian dalam *Paris Agreement*. Komitmen tersebut dibuktikan dengan diratifikasinya *Paris Agreement* dalam UU No. 16 Tahun 2016 terkait “Pengesahan *Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change* (Persetujuan Paris Atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa Mengenai Perubahan Iklim). Pemantapan kebijakan dan langkah serta implementasi dan evaluasi bidang-bidang sektor kehutanan dimaksud, maka Pemerintah RI telah menetapkan kebijakan dalam rangka pengurangan emisi Gas Rumah Kaca untuk mengendalikan perubahan iklim melalui program Nasional *Indonesia's FoLU Net Sink 2030* kebijakan yang mengatur *FoLU Net Sink* dalam peraturan KLHK No. 168/MENLHK/PKTL.PLA.1/2022 tentang *Indonesia's Forestry and Other Land Use (FOLU) Net Sink 2030* untuk pengendalian perubahan iklim.

Sejalan jalan dengan target FoLU, komitmen Pemerintah Daerah Provinsi Lampung sudah *on the track* dalam upaya mendukung pencapaian target penurunan emisi Gas Rumah Kaca secara Nasional. Semua areal pertanian dan non hutan lainnya, kawasan hutan lindung, produksi, dan kawasan konservasi termasukn TNWK di Provinsi Lampung diprogramkan dapat mendukung capaian porgram FoLU Netsinknya. Dalam dokumen resmi yang ada telah ditetapkan target penurunan emisi gas rumah kaca di Provinsi Lampung sebesar 17,159 jt ton ekuivalen karbondioksida (CO₂) atau sebesar 38,59 % dari total *Business as Usual* Provinsi Lampung Tahun 2020 sebesar 27,9 jt ton ekuivalen karbondioksida (CO₂) (PPID, 2022). Saat ini, penelitian-penelitian tentang karbon dikaitkan dengan INP vegetasi yang ada dan belum dikaitkan dengan program FoLU Netsink.

Dengan tujuan untuk mengetahui besarnya dukungan kawasan TNWK dalam mendukung capaian program FoLU Netsink tersebut perlu dilakukan penelitian di TNWK. Penelitian ini diprioritaskan dilakukan di Plot Tradisional Stasiun Rawa Bunder dan Plot Rawa Kidang karena 2 lokasi ini sering terjadi kebakaran. Dengan demikian diharapkan bisa menjadi acuan prediksi emisi karbon di lokasi lainnya baik yang rentan maupun tidak rentan terhadap kebakaran.

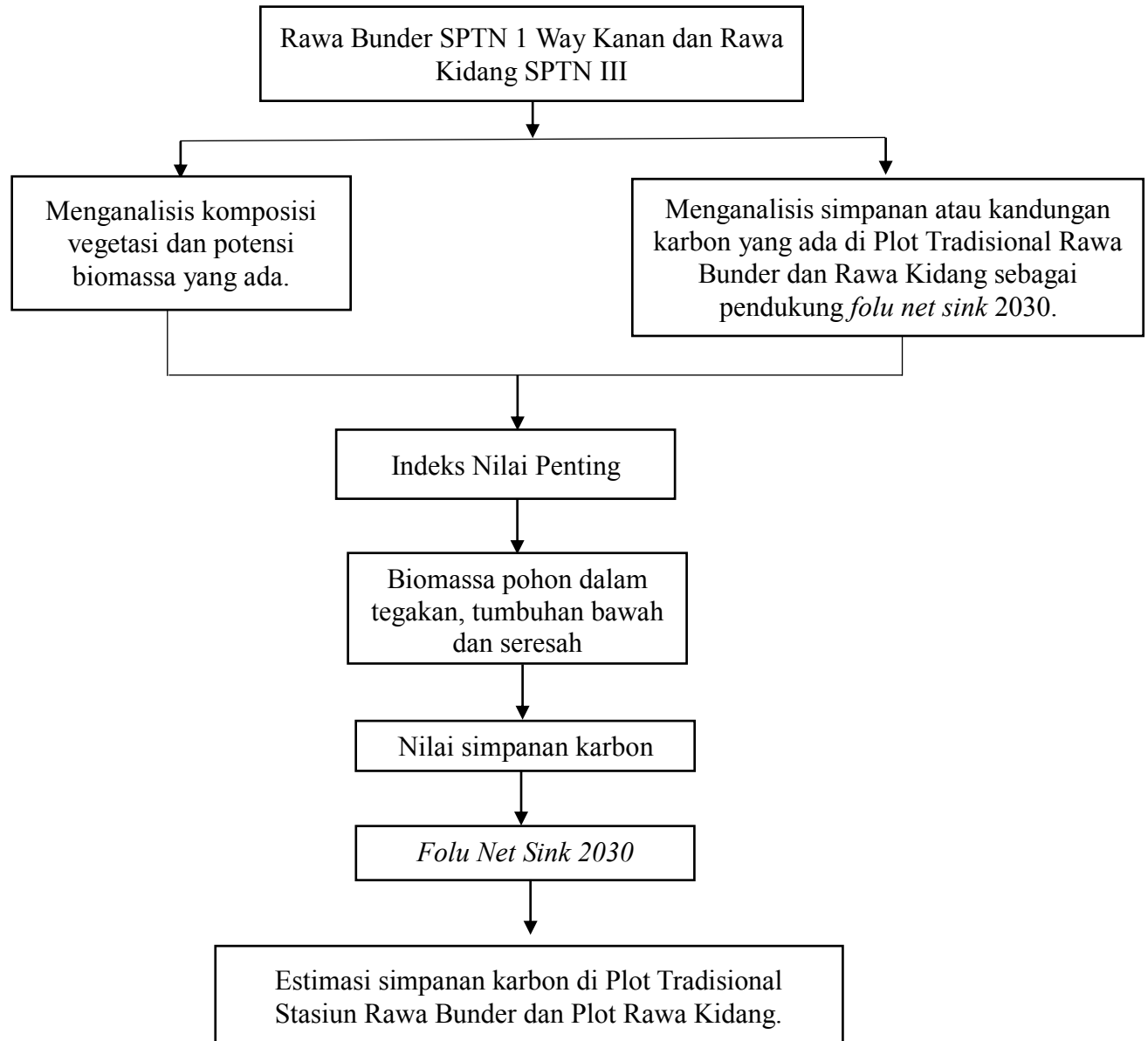
1.2 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis komposisi vegetasi dan potensi biomassa yang ada di Plot Tradisional Stasiun Rawa Bunder dan Plot Rawa Kidang.
2. Menganalisis simpanan atau kandungan karbon yang ada di Plot Tradisional Stasiun Rawa Bunder dan Plot Rawa Kidang sebagai pendukung *folu net sink* 2030.

1.3 Kerangka Pemikiran

Taman Nasional Way Kambas (TNWK) merupakan salah satu taman nasional yang ada di Provinsi Lampung. Rawa Bunder berada di dalam wilayah kelola Seksi Pengelolaan Taman Nasional (SPTN) Way Kanan dan di Seksi III, Kuala Penet, Resor Margahayu, Rawa Kidang. Penelitian ini diperlukan untuk mengetahui bagaimana komposisi vegetasi dan potensi biomassa yang ada. Selain itu juga, untuk mengetahui simpanan karbon yang ada di Plot Tradisional Rawa Bunder dan Plot Rawa Kidang apakah dapat mendukung capaian *folu net sink* 2030 yaitu menurunkan emisi GRK. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode analisis vegetasi untuk mengetahui simpanan karbon. Kandungan karbon vegetasi hutan sekunder dapat diestimasi menggunakan nilai biomassa yang diperoleh dari nilai BEF dimana 46% dari biomassa adalah karbon yang tersimpan (Yamani, 2013), dan untuk mengetahui besar lahan dan banyaknya jumlah plot yang diukur yaitu dengan menggunakan Intensitas Sampling (IS). Menurut Umroni (2012), intensitas sampling ditentukan berdasarkan tingkat ketelitian, biaya, serta kemampuan inventor, sedangkan berdasarkan Departemen Kehutanan (2013), mengacu pada Inventarisasi Hutan Nasional (IHN), intensitas sampling yang banyak digunakan yaitu sebesar 1%, oleh karena itu, maka penggunaan intensitas sampling sebesar 10% dapat diterima karena semakin besar intensitas sampling yang digunakan dalam sebuah penelitian maka akan memperbesar tingkat ketelitiannya, dan pernyataan ini sejalan dengan penelitian Umroni (2012) bahwa secara normatif nilai intensitas sampling yang tinggi akan sebanding dengan tingkat akurasi. Sehingga diharapkan penelitian ini nantinya berguna untuk pihak TNWK dan masyarakat luas terkait adanya simpanan karbon di Plot Tradisional Stasiun Rawa Bunder dan Plot Rawa Kidang. Kerangka pemikiran penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Pemikiran

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Dari aspek geografis, Taman Nasional Way Kambas terdapat di wilayah antara 40°37' dan 50°16' Lintang Selatan serta 105°33' dan 105°58' Bujur Timur di wilayah Provinsi Lampung, Indonesia. Luas kawasan TNWK adalah 125,631.31 ha, ditetapkan melalui Surat Keterangan Menteri Kehutanan Nomor 670/Kpts-II/1999 tanggal 26 Agustus 1999. Taman Nasional Way Kambas ini terletak di bagian tenggara Pulau Sumatera di Provinsi Lampung. Pada tahun 1924, wilayah hutan Way Kambas dan anak sungainya ditetapkan sebagai kawasan hutan lindung dengan beberapa wilayah hutan yang termasuk di dalamnya. Berdasarkan informasi tersebut, pendirian Cagar Alam Way Kambas dimulai pada tahun 1936 oleh residen Lampung Mr. Rookmaker, dilanjutkan dengan Surat Keputusan Gubernur Jenderal Belanda (Stbl 1937 nomor 38) tanggal 26 Januari 1937. Pada tahun 1978, Suaka Margasatwa Way Kambas diubah menjadi Cagar Alam (KPA) oleh Menteri Pertanian melalui Surat Keputusan No. 429/Kpts-7/1978 tanggal 10 Juli 1978, dan Sub Balai Cagar Alam (SBKPA)

Taman Nasional Way Kambas (TNWK) merupakan salah satu dari dua taman nasional di Provinsi Lampung selain Taman Nasional Bukit Barisan Selatan yang menjadi aset penting bagi Provinsi Lampung sebagai sumber daya alam dan sumber keanekaragaman hayati. Taman nasional ini secara administratif terletak di Kecamatan Way Jepara, Labuhan Meringgai, Sukadana, Purbolinggo, Rumbia, dan Seputih Surabaya, Kabupaten Lampung Tengah dan Lampung Timur. Ada beberapa

ekosistem yang dimiliki TNWK yaitu, hutan rawa air tawar, hutan bakau, padang alang-alang atau semak belukar, dan hutan sekunder (Departemen Kehutanan, 2002).

Zonasi Taman Nasional Way Kambas dibagi menjadi lima yakni zona rimba, zona pemanfaatan intensif, zona khusus konservasi, zona inti, dan zona pemanfaatan khusus. Penetapan zonasi ditentukan berdasarkan potensi alam hayati dan ekosistem, tingkat interaksi dengan masyarakat sekitar, kepentingan dan efektifitas pengelolaan kawasan Taman Nasional Way Kambas (TNWK, 2011). Didalam zona pemanfaatan terdapat perlindungan badak yang dijaga sekitar 100 hektar dengan pagar listrik dimana merupakan wilayah yang sangat dijaga khusus dikarenakan jumlahnya yang sangat terancam punah. Untuk zona rimba di Taman Nasional Way Kambas merupakan zona yang lebih alam dan lebih dalam dibandingkan dengan zona pemanfaatan. Zona rimba di Taman Nasional Way Kambas mengelilingi zona inti sehingga seluruh Taman Nasional Way Kambas dikelilingi oleh zona rimba dimana berbatasan langsung dengan laut Jawa sepanjang 75 km dan 37 desa. Zona inti merupakan zona yang dilindungi dengan keperluan observasi alam, riset, dan penelitian. Didalam zona inti terdapat hutan lepas tanpa jalan setapak untuk para wisatawan sehingga jalan yang dilalui benar-benar hutan dan harus dituntun oleh penjaga hutan didalam agar tidak salah dalam bertindak atau membahayakan diri sendiri.



Gambar 2. Pembagian Zona Taman Nasional Way Kambas

2.1.1 Rawa Bunder

Rawa Bunder berada di dalam wilayah kelola Seksi Pengelolaan Taman Nasional (SPTN) Way Kanan, salah satu dari empat Resor Pengolahan Taman Nasional (RPTN) dengan luas 9.824,47 ha berdasarkan Surat Keputusan Kepala Balai tanggal 12 Januari 2013 No. 11/BTN.WK-II2013 (Indraswati *et al.*, 2018). Tutupan lahan di Resor Rawa Bunder secara garis besar terbagi atas hutan hujan tropis dataran rendah seluas 4.876,3 ha, semak belukar seluas 3.472,9 ha, dan hutan rawa seluas 1.688,5 ha. Komposisi kawasan fragmen lanskap adalah hutan hujan tropis dataran rendah 48,6%, kawasan terbuka semak dan alang-alang 34,6%, dan hutan rawa 16,8%. Luasnya komposisi semak belukar dipengaruhi oleh faktor manusia yang pada saat itu merupakan lahan garapan yang ditanami ubi kayu oleh masyarakat. Kondisi topografi Resor Rawa Bunder (RRB/ Resor Rawa Bunder) landai (0 – 8%), dan elevasi di atas permukaan laut adalah 39 m.



Gambar 3. Peta Plot Tradisional Stasiun Rawa Bunder

2.1.2 Rawa Kidang

Rawa Kidang merupakan area pemulihan ekosistem yang terletak di SPTN Wilayah III Kuala Penet Taman Nasional Way Kambas. Rawa kidang terletak tidak sampai 2 kilometer di belakang kantor SPTN Wilayah III Kuala Penet, sehingga lokasi restorasi ini berada tidak jauh dari desa penyangga. Desa yang berlokasi dekat dengan Rawa Kidang yaitu Desa Labuhan Ratu VII. Salah satu alternatif solusi yaitu melalui kemitraan konservasi. Sebagaimana pernyataan tersebut, kemitraan diharapkan menjadi solusi yang tepat dalam pengelolaan kehutanan (Wandira *et al.*, 2020). Kemitraan konservasi merupakan bentuk kolaborasi yang memadukan kepentingan konservasi dengan perekonomian masyarakat. Program yang dirancang pada implementasi kemitraan konservasi di TNWK adalah restorasi. Restorasi ini dilakukan pada zona rehabilitasi TNWK yang awalnya merupakan area terbuka karena lahan hutan yang terbakar.

Penanaman tanaman pakan lebah dan badak merupakan salah satu kegiatan yang termasuk dalam program ini. Sebanyak 52 jenis tanaman pakan badak telah ditanam. Jenis tanaman tersebut antara lain bayur (*Pterospermum diversivolum*), medang (*Phoebe hainanensis*), pulai (*Alstonia scholaris*), puspa (*Schima wallichii*), ketapang (*Terminalia catappa*), lanangan (*Oroxylum indicum*), mindi (*Melia azedarach*), gandaria (*Bouea macrophylla*), luwangan (*Ficus hispida*), dan kasapan (*Clidemia hirta*). Upaya untuk memasok pakan alami yang disukai badak di Suaka Rhino Sumatera (SRS), penanaman pakan badak ini dilakukan untuk memperbaiki zona rehabilitasi TNWK yang telah rusak (Lestari *et al.*, 2021).



Gambar 4. Peta Plot C Rawa Kidang

2.2 Karbon

Karbon adalah unsur paling berlimpah ke-15 di kerak Bumi dan ke-4 di alam semesta setelah Nitrogen, Oksigen dan Argon. Karbon terdapat pada semua jenis makhluk hidup, dan pada manusia. Keberlimpahan karbon ini, bersamaan dengan keanekaragaman senyawa organik dan kemampuannya membentuk polimer membuat karbon sebagai unsur dasar kimiawi kehidupan. Unsur ini adalah unsur yang paling stabil di antara unsur-unsur yang lain, sehingga dijadikan patokan dalam mengukur satuan massa atom. Semua alotrop karbon sangat stabil dan memerlukan suhu yang sangat tinggi untuk bereaksi, bahkan dengan oksigen. Keadaan oksidasi karbon yang paling umumnya ditemukan adalah +4, sedangkan +2 dijumpai pada karbon monoksida dan senyawa kompleks logam transisi lainnya.

Total stok karbon hutan terutama meliputi vegetasi, tanah dan stok karbon serasah, parameter penting untuk menilai kapasitas penyerapan karbon dan anggaran karbon (Ravindranath dan Ostwald, 2009). Nilai cadangan karbon hutan adalah untuk menyatakan jumlah karbon dioksida (CO_2) yang ditentukan hutan dalam istilah moneter yang membantu orang untuk memahami kegunaan dari fungsi penyerap karbon hutan (Zhang *et al.*, 2013). Selain itu, nilai penyerap karbon hutan (CO_2) sering digunakan untuk menilai nilai jasa ekologi hutan. Pentingnya fungsi ekologis, fungsi karbon dan pelepasan oksigen oleh vegetasi hutan memainkan peran pengaturan penting dalam siklus material dan aliran energi ekosistem dengan menyediakan dan meningkatkan konsentrasi oksigen (O_2) sementara dan mengurangi CO_2 atmosfer, dan menjaga keseimbangan antara atmosfer CO_2 dan O_2 (Deng *et al.*, 2011). Oleh karena itu, memperkirakan COV di vegetasi hutan telah menarik banyak perhatian (Zhang *et al.*, 2018).

Karbon merupakan zat yang telah ada semenjak proses terbentuknya bumi. Karbon terdapat pada semua benda mati dan makhluk hidup. Karbon terdapat di

udara dalam bentuk gas karbondioksida. Pada tumbuhan, karbon terdapat pada batang, daun, akar, buah, juga pada daun-daun kering yang telah berguguran. Sebagian karbon pada tumbuhan membentuk suatu zat yang disebut hidrat arang atau karbohidrat. Hidrat arang merupakan zat yang sangat dibutuhkan oleh manusia maupun hewan sebagai sumber tenaga dan pertumbuhan. Karbon dari tumbuhan berpindah ke tubuh manusia dan hewan ketika mereka memakannya. Maka karbon pun menyebar ke seluruh bagian tubuh menjadi bagian-bagian dari tulang, kuku, daging dan kulit. Karbon juga tersimpan dalam perut bumi sebagai batu kapur, grafit, intan, minyak bumi, gas alam, batu bara dan tanah gambut (Tugas Suprianto *et al.*, 2012).

Untuk bertahan hidup, tanaman memerlukan cahaya matahari, gas karbon dioksida (CO_2) dari atmosfer, dan udara serta nutrisi dari tanah. Dengan proses fotosintesis, tanaman memperoleh karbon dari atmosfer dan mengonversinya menjadi senyawa karbohidrat, yang kemudian disebarluaskan dan disimpan pada setiap bagian tanaman dalam bentuk batang, bunga, cabang, daun dan buah (Hairiah dan Rahayu, 2007). Proses dimana C terakumulasi dalam tumbuhan hidup disebut proses sekuestrasi. Karena itu, menghitung besarnya karbon (C) yang terkumpul di dalam tumbuhan hidup (biomassa) di lapangan dapat menjelaskan jumlah karbon dioksida yang diambil oleh tanaman dari atmosfer (Hairiah dan Rahayu, 2007).

Penyerapan karbon adalah penyimpanan jangka panjang karbon atau karbon dioksida di hutan, tanah, lautan atau bawah tanah dalam minyak dan gas yang habis reservoir, lapisan batubara dan akuifer salin. Secara global, hutan memainkan peran utama dalam siklus karbon karena merupakan bagian terbesar dari pertukaran karbon antara atmosfer dan biosfer terestrial daripada jenis ekosistem lainnya (Singh, 2003). Biomassa hutan menyumbang sekitar 90% dari semua biomassa terestrial yang hidup di bumi, dan hutan muda menyerap CO_2 pada tingkat yang lebih tinggi daripada kebanyakan ekosistem lainnya (Dixon, 1997). Hutan dunia telah diperkirakan mengandung hingga 80% dari semua karbon di atas tanah dan 40% dari semua karbon terestrial (tanah, serasah, dan akar) di bawah tanah (Dixon *et al.*, 1994).

2.2.1 Siklus Karbon

Siklus karbon merupakan siklus paling penting dalam ekosistem bumi. Ia mengendalikan siklus material terpenting dalam ekosistem bumi dan memengaruhi lingkungan tempat manusia hidup (Ma dan Xie, 1996). Namun, sejak Revolusi Industri, aktivitas manusia berdampak signifikan pada siklus karbon. Karena pembakaran bahan bakar fosil dalam jumlah besar dan penggunaan lahan yang tidak wajar, aktivitas manusia melepaskan karbon dalam jumlah besar ke atmosfer (Zhao *et al.*, 2022). Penyimpanan karbon (yaitu, karbon yang tersimpan di atmosfer tanaman dan biomassa tanah) dan sekuestrasi (yaitu, penghilangan karbon dari tanaman dan tanah per satuan waktu) adalah jasa ekosistem yang berkontribusi untuk memerangi perubahan iklim (Pan *et al.* 201; Alongi 2012; Caldeira 2012).

Menurut Samsul, dalam Nugraha (2007:5), karbon dapat dijumpai di atmosfer sebagai karbon dioksida, di dalam jaringan makhluk hidup, dan terbesar di jumpai dalam batuan endapan serta bahan bakar fosil yang terdapat dalam perut bumi. Karbon masuk kedalam tubuh organisme melalui proses pencernaan dan kembali ke udara melalui proses respirasi. Jumlah karbon di atmosfer dipengaruhi oleh besarnya hasil fotosintesis, respirasi tegakan, respirasi serasah dan respirasi tanah. Jumlah karbon dalam bentuk karbon bebas juga sangat dipengaruhi oleh tambahan dari luar sistem seperti kebakaran hutan, letusan gunung api dan sebagainya (Muhdi, dalam Nugraha, 2008:6).

Siklus karbon dibagi menjadi 3 tahapan proses yaitu proses penyerapan, penyimpanan, dan pengeluaran (Lugina *et al.* 2011). Proses penyerapan yaitu tumbuhan menyerap CO₂ di atmosfer untuk membentuk daun, batang, dan akar melalui proses yang dikenal sebagai proses fotosintesis. Pada proses penyimpanan karbon yang diserap akan disimpan pada bagian daun, batang, dan akar. Tumbuhan menyimpan karbon terbanyak pada bagian batangnya. Proses pengeluaran karbon pada tumbuhan disebabkan oleh beberapa hal seperti penebangan pohon, pembukaan lahan dan pembakaran hutan (Alongi 2012). Perubahan wujud karbon kemudian

menjadi dasar untuk menghitung emisi, dimana sebagian besar unsur C yang terurai ke udara biasanya terikat dengan O₂ dan menjadi CO₂. Sebagai akibatnya ketika satu hektar hutan menghilang, maka biomassa pohon-pohon tersebut cepat atau lambat akan terurai dan unsur karbonya terikat ke udara menjadi emisi. Ketika satu lahan kosong ditanami tumbuhan, maka akan terjadi proses pengikatan unsure C dari udara kembali menjadi biomassa tumbuhan secara bertahap ketika tanaman tersebut tumbuh besar (sekuestrasi) (Harja *et al.*, 2012).

2.3 Biomassa

Biomassa merupakan total kuantitas materi organik yang terdapat di atas permukaan tanah pada suatu pohon, yang diukur berdasarkan bobot kering per satuan luas (Brown, 1999). Kuantitas karbon yang terakumulasi dalam pohon atau hutan bisa dihitung melalui pengukuran kuantitas biomassa atau jaringan tumbuhan yang hidup di hutan dan menggunakan faktor konversi yang sesuai (Rusololono, 2006). Menurut (Nugraha, 2009), biomassa hutan sangat relevan dengan isu perubahan iklim. Biomassa hutan berperan sangat penting dalam siklus biogeokimia terutama dalam siklus karbon. Dari keseluruhan karbon hutan, sekitar 50% diantaranya tersimpan dalam vegetasi hutan. Sebagai konsekuensi, jika terjadi kerusakan hutan, kebakaran dan pembalakan akan menambah jumlah karbon di atmosfer. Dinamika karbon di alam dapat di jelaskan secara sederhana dengan siklus karbon. Siklus karbon adalah siklus biogeokimia yang mencakup pertukaran atau karbon di antara biosfer, pedosfer, geosfer, hidrosfer dan atmosfer bumi (Nugraha, 2008).

Populasi manusia di bumi telah mencapai 7,7 miliar dan sekarang diperkirakan akan mencapai 9,2 miliar pada tahun 2050 (Bongaarts *et al.*, 2009). Peningkatan populasi global dan perluasan penggunaan lahan untuk memasok kebutuhan manusia permintaan untuk produk kayu dan jasa lainnya adalah tantangan utama pengelolaan hutan (Foley *et al.*, 2005) dan salah satu penyebab utama

deforestasi (misalnya konversi hutan menjadi lahan pertanian dan perkotaan). Tiga bioma hutan utama adalah hutan tropis, sedang dan boreal. Ini bioma sebagian besar terjadi pada garis lintang yang berbeda dan mengalami kondisi iklim yang berbeda dengan komunitas besar tumbuh-tumbuhan. Selama 25 tahun (1990 hingga 2015), luas hutan global berkurang dari 4.128 menjadi 3.999 ha (Keenan *et al.*, 2015).

Mengukur biomassa secara tepat dapat dilakukan melalui metode penebangan, pengeringan, dan penimbangan. Namun, cara tersebut kurang efisien dan memerlukan biaya yang signifikan. Dalam penelitian (Hairiah dan Rahayu, 2007) menjelaskan stok karbon diperkirakan dari biomassa menggunakan aturan bahwa 46% dari biomassa adalah karbon. Salah satu metode pendugaan biomassa adalah metode alometrik. Penilaian dilaksanakan dengan memperhitungkan lingkaran batang pohon pada ketinggian dada (*diameter at breast height*, DBH), yang terletak di area plot penelitian. Serapan biokarbon adalah serapan karbon kayu untuk pendugaan serapan karbon hutan, yang diperoleh dengan menghitung jumlah kayu yang menyerap karbon di hutan. memiliki beberapa keterbatasan (Wang dan Liu, 2009). Saat ini ada tiga metode utama. Metode pertama adalah rata-rata biomassa dan mendapatkan laju pertumbuhan volume material dengan laju pertumbuhan produk urutan diameter material (Zhang *et al.*, 2003).

Di permukaan bumi ini, kurang lebih terdapat 90 % biomassa yang terdapat dalam hutan berbentuk pokok kayu, dahan, daun, akar dan sampah hutan (serasah), hewan, dan jasad renik (Arifin A, 2005 dalam Wahyu *et al.*, 2006). Biomassa ini merupakan tempat penyimpanan karbon dan disebut rosot karbon (*carbon sink*). Sejalan dengan perkembangan isu yang terkait dengan biomassa hutan, maka penelitian atau pengukuran biomassa hutan mengharuskan pengukuran biomassa dari seluruh komponen hutan. Dalam perkembangannya, pengukuran biomassa hutan mencakup seluruh biomassa hidup yang ada di atas dan di bawah permukaan dari pepohonan, semak, palem, anakan pohon, dan tumbuhan bawah lainnya, tumbuhan menjalar, liana, epifit dan sebagainya ditambah dengan biomassa dari tumbuhan mati seperti kayu dan serasah. Biomassa hutan sangat relevan dengan isu perubahan iklim. Biomasa hutan berperan penting dalam siklus biogeokimia terutama dalam siklus

karbon. Dari keseluruhan karbon hutan, sekitar 46% diantaranya terseimpan dalam vegetasi hutan. Sebagai konsekuensi, jika terjadi kerusakan hutan, kebakaran, pembalakan akan menambah jumlah karbon di atmosfer (Sutaryo, 2009).

Biomassa menunjukkan jumlah potensial karbon yang dapat dilepas ke atmosfer sebagai karbon dioksida ketika hutan ditebang dan atau dibakar. Sebaliknya, melalui penaksiran dapat dilakukan perhitungan jumlah karbondioksida yang dapat diikat dari atmosfer dengan cara melakukan reboisasi atau dengan penanaman (Brown, 1997). Besarnya biomassa tegakan hutan dipengaruhi oleh umur tegakan hutan, sejarah perkembangan vegetasi, komposisi dan struktur tegakan (Lugo dan Snedaker, 1974 dalam Kusmana, 1993). Faktor iklim, seperti curah hujan dan suhu merupakan faktor yang mempengaruhi laju peningkatan biomassa pohon (Kusmana, 1993). Faktor – faktor iklim tersebut dapat berdampak pada proses biologi dalam pengambilan karbon oleh tanaman dan penggunaan karbon dalam aktivitas dekomposisi (Murdiyarso *et al.*, 1999). Pendugaan biomassa hutan dibutuhkan untuk mengetahui perubahan cadangan karbon dan untuk tujuan lain. Pendugaan biomassa di atas permukaan tanah sangat penting untuk mengkaji cadangan karbon dan efek dari deforestasi serta penyimpanan karbon dalam keseimbangan karbon secara global (Ketterings *et al.*, 2001). Karbon tiap tahun biasanya dipindahkan dari atmosfer ke dalam ekosistem muda, seperti hutan tanaman atau hutan baru setelah penebangan, kebakaran atau gangguan lainnya (Kurniatun H, *et al.*, 2001). Sehingga jangka panjang penyimpanan karbon di dalam hutan akan sangat tergantung pada pengelolaan hutannya sendiri termasuk cara mengatasi gangguan yang mungkin

2.3.1 Perhitungan Biomassa

Menurut Sutaryo (2009), terdapat empat cara utama untuk menghitung biomassa. Keempat cara tersebut yaitu sebagai berikut:

1. Sampling dengan pemanenan (*destructive sampling*) secara in situ Metode ini dilaksanakan dengan memanen seluruh bagian tumbuhan termasuk akarnya, mengeringkannya dan menimbang berat biomasanya. Pengukuran dengan metode

ini, untuk menghitung biomassa hutan dapat dilakukan dengan mengulang beberapa area sampel atau untuk melakukan ekstrapolasi untuk area yang lebih luas dengan menggunakan persamaan allometrik. Meskipun metode ini terhitung akurat untuk menghitung biomassa dalam suatu areal yang tidak terlalu luas, namun metode ini terhitung mahal dan sangat memakan waktu yang lama.

2. Sampling tanpa pemanenan (*non-destructive sampling*) dengan data pendataan hutan secara in situ Metode ini merupakan cara sampling dengan melakukan pengukuran tanpa melakukan pemanenan. Metode ini dilakukan dengan mengukur tinggi atau diameter pohon dan menggunakan persamaan allometrik untuk mengetahui berapa besar kandungan biomasanya.
3. Pendugaan melalui penginderaan jauh Penggunaan teknologi penginderaan jauh umumnya tidak dianjurkan terutama untuk proyek-proyek yang berskala kecil. Kendala utamanya adalah karena penggunaan melalui penginderaan jauh umumnya relatif mahal dan secara teknis membutuhkan keahlian tertentu atau ahlinya. Metode ini juga kurang efektif jika digunakan pada daerah aliran sungai, pedesaan atau lahan agroforestri yang merupakan mosaik dari berbagai penggunaan lahan dengan petak yang berukuran relatif kecil.
4. Pembuatan model Model digunakan untuk menghitung estimasi biomassa dengan frekuensi dan intensitas pengamat in situ atau penginderaan 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 allometrik yang mengkonversi volume menjadi biomassa (Tim Arupa, 2014)

2.4 Nekromassa

Nekromassa merupakan komponen mati dari tumbuhan yang antara lain dapat berupa daun, ranting, cabang, tunggak, akar, batang utama, dll. Nekromassa masih bernilai ekologi karena mampu menyimpan karbon dalam jumlah yang cukup besar (Sorbu *et al.*, 2021). Sehingga dalam penelitian ini, beberapa tipe nekromassa

dihitung antara lain di bagi menjadi dua kelompok nekromassa: yang pertama adalah nekromassa serasah + ranting + percabangan kecil (*woody liters*) dan nekromassa kedua merupakan tunggak tegakan tinggal + batang utama (*dead wood*) yang telah mati guna mendapatkan kisaran nilai karbon tersimpan. Pentingnya klasifikasi komponen nekromassa ini sesuai dengan rekomendasi Mass *et al.* (2020) bahwa nekromassa penting untuk dikategorikan sesuai bentuk dan ukurannya karena masing-masing komponen nekromassa tersebut memiliki karakteristik yang khusus dan terdistribusi secara berbeda dalam kawasan hutan.

Pengukuran karbon yang masih tersimpan dalam bagian tumbuhan telah mati (nekromassa) secara tidak langsung menggambarkan CO₂ yang tidak dilepaskan ke udara lewat pembakaran (Hendrawan *et al.*, 2014). Nekromassa atau kayu mati dapat disebabkan oleh faktor lingkungan seperti cuaca yang ekstrim, akibat dimatikan oleh manusia atau karena aktivitas hewan, akibat terinfeksi oleh hama atau penyakit (Hairiah, 2007).

Kelestarian nekromassa serasah merupakan salah satu elemen yang sangat vital bagi kelestarian lingkungan dan kelestarian hutan. Berkurangnya cadangan nekromassa serasah, baik akibat penebangan maupun kebakaran hutan dan lahan, tidak hanya berdampak pada hutan, tetapi juga bagi lingkungan sekitarnya. Diperlukan tindakan yang nyata untuk dapat menjaga kelestarian nekromassa serasah hutan. Salah satu tindakan yang dapat diambil dalam usaha menjaga kelestarian nekromassa serasah hutan adalah dengan memetakan distribusi nekromassa, serta memantau perubahan nekromassa serasah dari waktu ke waktu secara berkelanjutan (Pranata *et al.*, 2023).

2.5 Serasah

Serasah didefinisikan sebagai bahan organik mati yang berada di atas tanah mineral. Hanya kayu mati yang ukuran diameternya kurang dari 10 cm dikategorikan sebagai serasah. Serasah umumnya diestimasi biomasnya dengan metode

pemanenan/pengumpulan. Serasah bias saja dipisahkan lagi menjadi lapisan atas dan bawah. Lapisan atas disebut serasah yang merupakan lapisan di lantai hutan yang terdiri dari guguran daun segar, ranting, serpihan kulit kayu, lumut dan lumut kerak mati, dan bagian-bagian buah dan bunga. Lapisan dibawah serasah disebut dengan humus yang terdiri dari serasah yang sudah terdekomposisi dengan baik. (Kumara, 2005).

Jatuhan serasah menjadi dua, yaitu serasah pada suatu area (*litter-layer*) dan serasah yang dihasilkan dalam jangka waktu tertentu (*litter-fall*). *Litter-layer* merupakan serasah yang ada pada suatu wilayah tertentu dan dinyatakan dalam berat atau unit energi per area permukaan (misal m/m^2 , Kcal/ha). *Litter-fall* merupakan tingkat gugurnya serasah dalam jangka waktu tertentu (misal $g/m^2/hari$, Kcal/ha/tahun (Brown 1984).

Produksi serasah meningkat saat musim penghujan dan menurun saat musim kering (Twilley *et al.*, 1986). Jumlah produksi serasah dapat menurun jika masukan air tawar berkurang, menyebabkan salinitas sedimen meningkat. Penurunan jumlah produksi serasah dapat juga dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti kandungan nutrisi sedimen, terutama nitrogen (N) dan fosfor (P) (Twilley *et al.*, 1986).

Dekomposisi merupakan proses perubahan secara fisik maupun secara kimiawi yang sederhana oleh mikroorganisme tanah yang disebut mineralisasi (Mulyani *et al.*, 1991). Istilah dekomposisi sering digunakan untuk menerangkan sejumlah besar proses yang dialami oleh bahan-bahan organik, yaitu proses sejak dari perombakan dan penghancuran bahan organik menjadi partikel-partikel kecil sehingga menjadi unsur-unsur hara yang tersedia dan dapat diserap oleh tanaman kembali (Waring dan Schlesinger 1985). Proses dekomposisi serasah dimulai dari proses penghancuran yang dilakukan oleh serangga kecil terhadap tumbuhan dan sisa bahan organik mati menjadi ukuran yang lebih kecil. Kemudian dilanjutkan dengan proses biologi yang dilakukan oleh bakteri dan fungi sebagai dekomposer dibantu oleh enzim yang dapat menguraikan bahan organik seperti protein, karbohidrat, dan lain-lain. Proses dekomposisi dipengaruhi oleh kandungan bahan organik tanaman, organisme dekomposer, dan faktor lingkungan.

Produk dari dekomposisi berupa hara serta unsur mineral lainnya. Beberapa faktor yang memengaruhi dekomposisi diantaranya adalah:

1. Kelembaban Mikroba dapat hidup berkembangbiak apabila keadaan lingkungannya cukup lembab. Kisaran kelembaban yang ideal adalah 40–60%. Semakin besar populasi mikroba berarti proses dekomposisi menjadi semakin cepat.
2. Suhu Suhu dapat menentukan aktivitas mikroba dalam proses dekomposisi bahan organik. Pada saat mikroba aktif, suhu berkisar antara 40–55°C.
3. pH Kisaran pH yang ideal untuk proses pengomposan adalah 6-8. Bila pH terlalu tinggi, maka unsur N akan berubah menjadi NH_3 yang akan menimbulkan bau, sedangkan $\text{pH} < 5$ menyebabkan sebagian mikroba akan mati sehingga memperlambat proses dekomposisi.
4. Rasio C/N Proses dekomposisi akan mencapai optimum apabila rasio C/N dari bahan organik berkisar antara 20:1 dan 40:1. Pada rasio C/N yang terlalu tinggi akan menyebabkan proses dekomposisi berjalan lama, sedangkan rasio C/N rendah menyebabkan proses pembusukan awal akan cepat, namun akan terus menurun karena kekurangan unsur C sebagai sumber energi bagi mikroba. Serasah adalah bahan-bahan yang telah mati, terletak di atas permukaan tanah dan mengalami dekomposisi dan mineralisasi. Komponen-komponen yang termasuk serasah adalah daun, ranting, cabang kecil, kulit batang, bunga, dan buah (Mindawati dan Pratiwi 2008). Serasah yang jatuh akan mengalami dekomposisi yang melibatkan peran mikroorganisme seperti bakteri dan fungi.

Dekomposisi akan berjalan lebih cepat jika terdapat penambahan mikroorganisme tersebut. Limbah serasah dari pepohonan dan tanaman, seperti dedaunan dan ranting, memiliki komposisi selulosa sebesar 45% dari bobot kering bahan. Komponen-komponen yang penting dari serasah adalah daun, ranting dengan ukuran diameter < 1 cm dan cabang kecil dengan ukuran diameter ≤ 2 cm, alat-alat reproduksi (bunga dan buah) dan kulit pohon (Proctor 1983). Menurut Desmukh (1993), komponen yang membentuk lapisan serasah tumbuhan tidak homogen, tetapi tersusun atas campuran organ-organ tumbuhan seperti daun 72%, kayu 16%, serta bunga dan buah 2%. Kehilangan tahunan dari daun, ranting, bunga, buah, dan

serpihan kulit kayu merupakan bagian utama dari jatuhan serasah pada ekosistem hutan. Sekitar 70% dari total serasah di permukaan tanah berupa serasah daun. Serasah yang jatuh ke permukaan tanah merupakan bagian dari tumbuhan yang telah mati, yang tidak mengalami proses pertumbuhan lagi dan akhirnya mengalami proses dekomposisi dan mineralisasi (Soerianegara dan Indrawan 1998).

2.6 Vegetasi

Komposisi vegetasi merupakan variasi spesies flora yang membentuk suatu komunitas yang satu dengan lainnya saling mendukung. Richards (1996) menggambarkan keberadaan spesies di dalam hutan sebagai penentu komposisi vegetasi. Komposisi dan dominansi spesies tumbuhan atau kedudukan ekologis suatu jenis dalam komunitas di lokasi dapat dilihat dari Indeks Nilai Penting (INP). Suatu jenis tumbuhan dapat berperan jika INP untuk tingkat semai dan pancang lebih dari 10 %, untuk tingkat tiang dan pohon 15 % (Richard, 1996)

Struktur vegetasi didefinisikan sebagai organisasi individu-individu tumbuhan dalam ruang yang membentuk tegakan, secara luas membentuk tipe vegetasi atau asosiasi tumbuhan. Penyusun vegetasi terdiri atas fisiognomi vegetasi, struktur biomassa, bentuk hidup (*life form*), struktur floristik dan struktur tegakan. Parameter-parameter vegetasi yang sering digunakan dalam penentuan struktur vegetasi adalah densitas, frekuensi, dan dominansi (Mueller-Dombois & Ellenberg, 1974).

Kehadiran vegetasi pada suatu bentang alam akan memberi dampak positif bagi keseimbangan ekosistem dalam skala yang lebih luas. Secara umum peranan vegetasi dalam suatu ekosistem terkait dengan pengaturan keseimbangan CO₂ dan O₂ dalam udara, perbaikan sifat fisik, kimia dan biologis tanah, dan pengaturan tata air tanah (Arrijani et al., 2006).

Pohon merupakan Tumbuhan dengan diameter lebih dari 20 cm. Pohon berfungsi sebagai pelengkap, penyatu, penegas, penanda dan pembingkai terhadap

lingkungan. Adapun unsur lain pada tanaman yang paling menonjol secara estetika ialah bentuk, ukuran, tekstur dan warna. Bentuk tajuk dan warna bunga pada pohon merupakan karakteristik pohon yang paling menonjol secara estetika visual. Secara Setiap jenis pohon memiliki karakteristik morfologi yakni cetakan genetika di bawah pohon normal. Karakter pohon secara visual lanskap jalan belum banyak terungkap sehingga suasana yang dapat terbentuk oleh kehadiran pohon kurang ditampilkan secara optimal (Lestari, 2010).

Analisa vegetasi adalah cara mempelajari susunan (komposisi jenis) dan bentuk (struktur) vegetasi atau masyarakat tumbuh-tumbuhan. Untuk suatu kondisi hutan yang luas, maka kegiatan analisa vegetasi erat kaitannya dengan sampling, artinya kita cukup menempatkan beberapa petak contoh untuk mewakili habitat tersebut. Dalam sampling ini ada tiga hal yang perlu diperhatikan, yaitu jumlah petak contoh, cara peletakan petak contoh dan teknik analisa vegetasi yang digunakan.

Prinsip penentuan ukuran petak adalah petak harus cukup besar agar individu jenis yang ada dalam contoh dapat mewakili komunitas, tetapi harus cukup kecil agar individu yang ada dapat dipisahkan, dihitung dan diukur tanpa duplikasi atau pengabaian. Karena titik berat analisa vegetasi terletak pada komposisi jenis dan jika kita tidak bisa menentukan luas petak contoh yang kita anggap dapat mewakili komunitas tersebut, maka dapat menggunakan teknik Kurva Spesies Area (KSA). Dengan menggunakan kurva ini, maka dapat ditetapkan :

- (1) luas minimum suatu petak yang dapat mewakili habitat yang akan diukur,
- (2) jumlah minimal petak ukur agar hasilnya mewakili keadaan tegakan atau panjang jalur yang mewakili jika menggunakan metode jalur (Suprianto, 2001).

Pengamatan parameter vegetasi berdasarkan bentuk hidup pohon, perdu, serta herba. Suatu ekosistem alamiah maupun binaan selalu terdiri dari dua komponen utama yaitu komponen biotik dan abiotik. Vegetasi atau komunitas tumbuhan merupakan salah satu komponen biotik yang menempati habitat 5 tertentu seperti hutan, padang ilalang, semak belukar dan lain-lain (Syafei, 1990). Struktur dan komposisi vegetasi pada suatu wilayah dipengaruhi oleh komponen ekosistem

lainnya yang saling berinteraksi, sehingga vegetasi yang tumbuh secara alami pada wilayah tersebut sesungguhnya merupakan pencerminan hasil interaksi berbagai faktor lingkungan dan dapat mengalami perubahan signifikan karena pengaruh anthropogenik (Setiadi, 1984).

2.7 Pemanasan Global

Pemanasan global didefinisikan sebagai peningkatan suhu rata-rata atmosfer, laut, dan daratan bumi. Penyebab meningkatnya suhu rata-rata di bumi adalah akibat dari emisi gas rumah kaca (GRK) yang menyebabkan energi panas matahari terperangkap di atmosfer dan menjadikan bumi lebih panas dari sebelumnya (Handoko, 2007)

Pemanasan global (*global warming*) menjadi salah satu isu lingkungan utama yang dihadapi dunia saat ini. Pemanasan global berhubungan dengan proses meningkatnya suhu rata-rata permukaan bumi. Peningkatan suhu permukaan bumi ini dihasilkan oleh adanya radiasi sinar matahari menuju ke atmosfer bumi, kemudian sebagian sinar ini berubah menjadi energi panas dalam bentuk sinar infra merah diserap oleh udara dan permukaan bumi. Perubahan iklim global sebagai implikasi dari pemanasan global telah mengakibatkan ketidakstabilan atmosfer di lapisan bawah terutama yang dekat dengan permukaan bumi. Peningkatan konsentrasi karbon dioksida di atmosfer merupakan salah satu penyebab terbesar terjadinya pemanasan global (Munir, 2003)

Pemanasan global terjadi akibat meningkatnya emisi gas rumah kaca seperti karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), nitrogen oksida (NO₂), chlorofluorocarbon (CFC) dan gas lainnya secara berlebihan di atmosfer, sehingga cahaya matahari yang dipantulkan bumi sebagai radiasi infra merah gelombang panjang dan ultraviolet yang akan diteruskan ke angkasa luar, namun sebagian besar dipantulkan kembali ke bumi oleh gas rumah kaca yang terbentuk di atmosfer, sehingga semakin meningkatkan temperatur bumi. Gas rumah kaca yang berpengaruh secara langsung salah satunya adalah CO₂. Konsentrasi CO₂ yang berlebih di atmosfer akan menyebabkan suhu

udara menjadi lebih panas. Sebagian besar GRK dihasilkan oleh tempat pembuangan akhir, kotoran ternak, sistem pendingin ruangan, pembakaran fosil, dan kegiatan alih fungsi lahan dan hutan (Fernando, 2009).

2.7.1 Faktor-faktor Penyebab Pemanasan Global

Gas rumah kaca (GRK) merupakan gas-gas hasil pemanasan bumi yang kemudian dilepaskan menuju atmosfer sehingga menyebabkan terbentuknya efek rumah kaca (Munir, 2003). Efek rumah kaca terjadi karena peningkatan emisi gasgas, seperti karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dinitro oksida (N_2O), chlorofluorocarbons (CFC), dan lain-lain, sehingga energi matahari terperangkap dalam atmosfer bumi. Menumpuknya jumlah gas rumah kaca seperti uap air, karbon dioksida, dan metana di atmosfer mengakibatkan sebagian dari panas ini dalam bentuk radiasi infra merah tetap terperangkap di atmosfer bumi, kemudian gas-gas ini menyerap dan memantulkan kembali radiasi gelombang yang dipancarkan oleh permukaan bumi. Akibatnya panas tersebut akan tersimpan di permukaan Bumi.

Aktivitas manusia yang paling besar menyumbang emisi gas rumah kaca adalah aktivitas industri. Perusahaan sebagai pelaku ekonomi yang menjalankan aktivitas industri memiliki peluang besar menghasilkan emisi gas rumah kaca. Pemanasan global dan perubahan iklim yang tidak terkendali ini muncul sebagai salah satu akibat dari jumlah emisi gas yang dihasilkan oleh aktivitas manusia. Bukti ilmiah menunjukkan bahwa gas rumah kaca dari aktivitas manusia memperburuk pemanasan global dan perubahan iklim (IPCC, 2007).

Problem yang ada sekarang adalah tingginya gas-gas rumah kaca sebagai akibat dari kegiatan manusia yang dapat mempengaruhi iklim di bumi sehingga menyebabkan pemanasan bumi secara global. Oleh karena perubahan iklim global mempengaruhi keadaan alam secara keseluruhan, komunitas biologi, fungsi ekosistem, dan iklim harus selalu dijaga. Menurut Harmoni (2009) dampak yang ditimbulkan dari GRK bagi kehidupan manusia antara lain adalah:

- a. Meningkatnya resiko kebakaran hutan.
- b. Meningkatnya resiko epidemi penyakit infeksi dan resiko kehidupan manusia.
- c. Meningkatnya kejadian banjir dan kekeringan jika emisi GRK terus bertambah.
- d. Menurunnya produksi pertanian disebabkan oleh kekeringan dan banjir.
- e. Penurunan sumber daya air secara kualitatif maupun kuantitatif.
- f. Meningkatnya erosi dan kerusakan infrastruktur.

Umpan balik, Efek dari penguatan iklim dipersulit oleh berbagai macam proses umpan balik, dimana saat CO₂ disuntikkan ke dalam atmosfer menyebabkan pemanasan atmosfer dan permukaan bumi, sehingga mengakibatkan lebih banyak uap air yang diuapkan ke atmosfer. Dan uap air itu sendiri bertindak sebagai gas rumah kaca. Proses umpan balik penting lainnya adalah umpan balik *ice-albedo*, dimana CO₂ dalam atmosfer memanaskan permukaan bumi dan menyebabkan mencairnya es di dekat kutub. Ketika es mencair, daratan atau perairan terbuka terkena imbasnya.

Variasi sinar matahari, Variasi dalam output sinar matahari, yang diperkuat oleh umpan balik awan, dapat memberikan kontribusi pada pemanasan seperti yang sekarang terjadi. Selanjutnya Kodra (2004), mengidentifikasi penyebab terjadinya pemanasan global (*global warming*), oleh karena berbagai pencemaran yang kompleks. Dan penyumbang terbesar adalah karbon dioksida, nitrogen oksida, metana dan khlorofluorokarbon. Meningkatnya konsentrasi ketiga gas pertama (karbondioksida, nitrogen oksida dan metana) sebenarnya merupakan konsekuensi adanya peningkatan pertumbuhan penduduk bumi.

Penipisan Lapisan Ozon, Meningkatnya kegiatan manusia dalam memenuhi kebutuhan hidupnya menyebabkan naiknya jumlah konsentrasi pencemaran udara seperti karbon dioksida (an), khlorofluorocarbons (CFCs), dan halons. Ketiga polutan tersebut dituding sebagai penyebab nomor satu menipisnya lapisan ozon. Penipisan lapisan ozon menyebabkan sinar ultraviolet yang dipancarkan ke bumi tidak lagi tersaring secara semestinya. Akibatnya terjadilah *global warming*, memanasnya suhu bumi yang mengakibatkan terjadinya perubahan iklim dunia (Salim, 2004).

2.8 Emisi Karbon

Emisi karbon didefinisikan sebagai pelepasan gas-gas yang mengandung karbon ke lapisan atmosfer. Emisi karbon dalam konteks penelitian ini adalah karbon dioksida (*Carbon dioxide*) yang merupakan bagian dari gas rumah kaca yang harus direduksi oleh negara anggota pada amandemen Protokol Kyoto (*United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC), 1998). Dalam Irwhantoko, I., dan Basuki, B. (2016). Pengurangan emisi karbon berfokus pada emisi yang dihasilkan oleh kegiatan industri. Sehingga pada akhirnya, informasi berkurangnya emisi karbon memerlukan pengungkapan emisi karbon.

Pada sektor ini emisi yang cukup signifikan terjadi pada proses eksploitasi hutan yang akan menyebabkan kematian pohon yang ditebang maupun “logging damage” bagi pohon-pohon kecil disekitarnya akibat penebangan dan pembuatan jalan di area hutan tersebut. Emisi GRK juga bersumber dari pembakaran biomassa, tanah, fermentasi enterik ternak dan pengolahan kotoran ternak (Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Buku II - volume 3, 2012). Penebangan liar atau pembakaran hutan untuk berbagai kepentingan menyebabkan pelepasan karbon yang lebih besar ke atmosfer dan fungsi penyerapan karbon menjadi semakin menurun.

Hubungan antara sektor tataguna lahan dan kehutanan dengan bangunan adalah dalam hal eksploitasi material bangunan. Eksploitasi material berhubungan langsung dengan lingkungan karena ketersediaannya pada alam dalam satu area atau lahan tertentu. Material yang diambil bisa saja terdapat pada permukaan tanah atau dalam lapisan tanah yang proses eksploitasinya (melalui penambangan) akan mengubah tata guna lahan serta mempengaruhi ekosistem yang ada disekitarnya Agus dan Kurniatun serta Anny (2011)

2.9 Folu Net Sink 2030

FOLU atau *Forestry and Other Land Use* adalah kategori sektor yang merupakan salah satu sumber emisi dan rosot GRK yang berasal dari dinamika perubahan tutupan dan penggunaan lahan yang diharapkan memberikan kontribusi terbesar atas pencapaian target penurunan emisi gas rumah kaca di Indonesia, sebagaimana dinyatakan dalam dokumen NDC. Tujuan FOLU adalah sebuah kondisi yang ingin dicapai melalui aksi mitigasi penurunan emisi gas rumah kaca dari sektor kehutanan dan lahan dengan kondisi dimana tingkat serapan sudah lebih tinggi dari tingkat emisi pada tahun 2030, dalam target diproyeksikan angka *net sink* 140 juta ton CO₂ atau emisi negatif sebesar 140 juta ton CO₂.

Tujuan penyusunan Rencana Operasional *Indonesia's FOLU Net Sink 2030* meliputi:

1. Memantapkan kebijakan dan imlementasi kerja untuk mencapai *Indonesia's FOLU Net Sink 2030* dengan langkah-langkah yang sistematis dan terukur;
2. Menetapkan rencana operasional kerja aksi penurunan emisi gas rumah kaca sektor kehutanan dan lahan menuju *Indonesia's FOLU Net Sink 2030*;
3. Menjabarkan target NDC ke dalam detil rencana aksi penurunan emisi gas rumah kaca sektor kehutanan dan lahan dengan pendekatan *Indonesia's FOLU Net Sink 2030*;
4. Menegaskan kegiatan penopang utama pelaksanaan program dan kegiatan penurunan emisi gas rumah kaca sektor kehutanan dan lahan menuju *Indonesia's FOLU Net Sink 2030* serta tahapan kerja dan operasionaliasi serta evaluasinya;
5. Menjadi dasar dalam penyusunan Manual of Operation dari setiap kebijakan dan langkah penopang utama Program Nasional “*Indonesia's FOLU Net Sink 2030*” tersebut.

2.10 Persamaan Allometrik

Allometri didefinisikan sebagai suatu studi dari suatu hubungan antara pertumbuhan dan ukuran salah satu bagian organisme dengan pertumbuhan atau

ukuran dari keseluruhan organisme. Dalam studi biomasa hutan atau pohon persamaan allometrik digunakan untuk mengetahui hubungan antara ukuran pohon (diameter atau tinggi) dengan bobot (kering) pohon secara keseluruhan. Persamaan allometrik dinyatakan dengan persamaan umum (Adinugroho *et al.*, 2006)

$$Y = a + bX$$

Dalam hal ini, Y mewakili ukuran yang diprediksi, X adalah bagian yang diukur, b = kemiringan atau koefisien regresi dan a adalah nilai perpotongan dengan sumbu vertikal (Y).

Untuk mencari nilai a dan b dalam persamaan liner di atas digunakan metode kuadrat terkecil (*least square*). Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$b = \{ \sum_{i=1}^n X_i Y_i \} - \{ \sum_{i=1}^n X_i \} \{ \sum_{i=1}^n Y_i \}$$

Tidak semua perbandingan allometrik bersifat linier. Persamaan lain yang sering digunakan adalah persamaan pangkat (*power function*). Bentuk dasar dari persamaan ini adalah

$$Y = a X^b$$

Bentuk dasar ini kemudian ditransformasikan ke bentuk logaritma menjadi

$$\log(Y) = \log(a) + b[\log(X)]$$

Jika diperhatikan, persamaan $\log(Y) = \log(a) + b[\log(X)]$ adalah identik dengan persamaan $Y = a + bX$. Dengan demikian setelah melalui transformasi, untuk mencari nilai $\log(a)$ dan b juga dapat dilakukan dengan menggunakan metode kuadrat terkecil (*least square*).

2.11 Hutan

Sesuai dengan ketentuan Undang-Undang Nomor 41 Tahun 1999, hutan ialah sebuah sistem ekologi yang terdiri dari wilayah yang memuat berbagai jenis sumber daya hayati yang didominasi oleh pohon-pohon dan berada dalam lingkungan alam yang tak terpisahkan. Menurut Indriyanto (2006), aktivitas transformasi hutan untuk

maksud yang lain akan membebaskan karbon dalam jumlah besar ke atmosfer. Konsekuensi langsung dari transformasi hutan adalah mengkontaminasi cadangan karbon dari biomassa tumbuhan, mengakibatkan kerusakan tanah, dan menghilangkan penyerapan karbon dari materi organik tanah. Pengurangan vegetasi hutan menimbulkan penurunan kandungan karbon dalam tutupan hutan, yang juga mengurangi kapasitas hutan untuk menyerap karbon. Selain itu, perubahan vegetasi terestrial mengganggu proses penyerapan karbon, sehingga tidak hanya menyimpan karbon yang dilepaskan di hutan, tetapi juga membuat hutan kehilangan fungsi penyerapan karbonnya.

Ekosistem hutan menyediakan jasa yang penting dan beragam bagi masyarakat di seluruh dunia, berfungsi sebagai habitat utama bagi beragam spesies, menyediakan kayu, mendukung konservasi dan konservasi keanekaragaman hayati, dan sangat penting bagi masyarakat adat. dan menjaga kesehatan manusia secara keseluruhan (Nelson *et al.*, 2009). Setelah lautan, hutan dunia memainkan peran penting dalam siklus karbon (C) atmosfer. Karena hutan bertanggung jawab atas lebih banyak pertukaran C dengan biosfer terestrial daripada bioma terestrial lainnya, hutan berkontribusi terhadap solusi perubahan iklim (Pan *et al.*, 2011; Boyd *et al.*, 2019). Ekosistem hutan menyimpan lebih dari 80% dari semua karbon terestrial dan lebih dari 70% dari semua karbon organik tanah (SOC) di Bumi (Batjes, 1996).

Salah satu fungsi hutan adalah sebagai resor karbon dioksida (CO_2) dari udara. Emisi CO_2 tertinggi di Indonesia terjadi pada tahun 2006, yaitu sebesar 195 juta ton CO_2 , sedangkan emisi terendah terjadi pada tahun 2010 sebesar 74 juta ton CO_2 (CIFOR 2015). Purwanta (2016), menyatakan bahwa emisi CO_2 di Indonesia dari tahun 2001-2006 sebesar 827.058 CO_2 Gg/tahun yang berasal dari proses industri atau 6% dari keseluruhan sektor yang dihitung. Peran hutan sebagai penyerap CO_2 harus dipertahankan untuk mengatasi masalah emisi CO_2 . Serapan CO_2 berhubungan erat dengan biomassa tegakan (Siregar dan Heriyanto, 2010).

Menurut Kyrklund (1990), hutan berperan dalam meningkatkan serapan karbon dioksida dengan memanfaatkan sinar matahari dan udara di dalam tanah sehingga vegetasi tumbuhan dapat menyerap karbon dioksida dari atmosfer melalui proses

fotosintesis. Hasil fotosintesis disimpan dalam bentuk biomassa yang dapat membantu pertumbuhan tumbuhan. Perkembangan ini berlangsung hingga tumbuhan berhenti tumbuh atau dipanen secara fisiologis. Secara keseluruhan, hutan yang 'tumbuh subur' (terutama dari pohon yang masih dalam tahap pertumbuhan) mampu menyerap lebih banyak karbon dioksida, sedangkan hutan yang lebih tua dan memiliki pertumbuhan rendah hanya dapat menyimpan cadangan karbon, sementara kelebihan atau lebihannya tidak dapat menyerap karbon dioksida.

Hutan lestari menyimpan lebih banyak karbon (C) dan bertahan lebih lama. Oleh karena itu, aktivitas yang menutupi vegetasi gundul atau memulihkan hutan yang terdegradasi dapat membantu menyerap kelebihan karbon dioksida di atmosfer disebabkan oleh runtuhnya keseimbangan energi keseimbangan ini dipengaruhi oleh meningkatnya karbon dioksida (Kyrklund, 1990)

Pembangunan hutan dalam rangka peningkatan penyerapan CO₂ dapat dilakukan pada kawasan hutan negara ataupun hutan hak yang termasuk didalamnya hutan rakyat. Menurut Darusman dan Suharjito (1998), hutan rakyat mempunyai potensi besar baik dari segi populasi pohon maupun jumlah rumah yang mengusahakannya. Hutan yang luas dengan kondisi vegetasi yang baik akan menghasilkan akumulasi penyerapan CO₂ yang besar. Akan tetapi dengan adanya laju degradasi dan deforestasi hutan yang tinggi sampai saat ini serapan CO₂ telah mengalami penurunan. Hutan yang makin terdegradasi lambat laun akan kehilangan fungsinya sebagai penyerap CO₂ (Junaedi, 2008).

a. Hutan Lindung Menurut undang-undang No. 41 Tahun 1999 dijelaskan bahwa. Hutan lindung adalah kawasan hutan yang mempunyai fungsi pokok sebagai perlindungan sistem penyanggaan kehidupan untuk mengatur tata air, mencegah banjir, mengendalikan erosi, mencegah intrusi air laut, dan memelihara kesuburan tanah. Manfaat Hutan lindung memiliki banyak sekali manfaat, baik itu untuk manusia maupun untuk hewan dan tumbuh-tumbuhan fungsi hutan lindung yang sangat penting adalah sebagai penjaga kualitas lingkungan serta ekosistem yang berada di dalamnya.

b. Hutan Produksi Hutan produksi adalah kawasan hutan yang dimanfaatkan untuk memproduksi hasil hutan. Negara bisa memberikan pengelolaan hutan negara berupa konsesi kepada pihak swasta untuk dimanfaatkan dan di kelolah hasil hutannya. Hasil hutan yang dimaksud bisa berupa kayu dan non kayu. Hutan produksi terdiri atas

1. Hutan produksi tetap adalah hutan yang bisa dieksploitasi hasil hutannya dengan cara tebang pilih maupun tebang habis.
2. Hutan produksi terbatas adalah hutan yang dialokasikan untuk dieksploitasi kayunya dalam intensitas rendah. Penebangan kayu masih bisa dilakukan dengan menggunakan metode tebang pilih. Hutan jenis ini umumnya berada di wilayah pengunungan yang memiliki lereng-lereng curam. Areal yang bisa ditetapkan sebagai hutan produksi terbatas.

c. Hutan Konservasi Kawasan konservasi adalah kawasan hutan dengan ciri khas tertentu, yang mempunyai fungsi pokok keawetan keragaman tumbuhan dan satwa serta Ekosistemnya. Adapun hutan konservasi terdiri atas.

1. Kawasan Suaka Alam Kawasan dengan ciri khas tertentu, baik darat maupun di perairan yang mempunyai fungsi pokok sebagai kawasan pengawetan keanekaragaman tumbuhan dan satwa serta Ekosistemnya yang juga berfungsi sebagai wilayah sistem penyangga kehidupan. Kawasan Suaka Alam terdiri dari yaitu
 - a. Cagar alam kawasan suaka alam yang karena keadaan alamnya mempunyai kekhasan tumbuhan, satwa dan Ekosistemnya tertentu yang perlu di lindungi dan perkembangan secara langsung dan alami.
 - b. Suaka Margasatwa adalah kawasan suaka alam yang mempunyai ciri khas berupa keanekaragaman dan atau keunikan jenis satwa yang untuk kelangsungan hidupnya dapat di lakukan pembinaan terhadap habitatnya.
2. Kawasan Pelestarian Alam adalah kawasan dengan ciri khas tertentu, baik di darat maupun perairan yang mempunyai fungsi perlindungan sistem penyangga kehidupan pengawetan keanekaragaman jenis tumbuhan dan satwa, serta pemanfaatan secara lestari sumber daya alam hayati dan Ekosistemnya. Adapun kawasan pelestarian alam yaitu.

- a. Taman Nasional adalah kawasan pelestarian alam yang mempunyai ekosistem asli, di kelolah dengan sistem zonasi yang dimanfaatkan untuk tujuan penelitian, ilmu pengetahuan, pendidikan, menunjang budaya, pariwisata dan rekreasi.
- b. Taman Hutan Raya adalah pelestarian alam untuk tujuan koleksi tumbuhan dan/ atau satwa yang alami atau buatan, jenis asli dan bukan asli, yang di dimanfaatkan bagi kepentingan penelitian, ilmu pengetahuan.
- c. Taman Wisata Alam adalah kawasan pelestarian alam yang terutama dimanfaatkan untuk pariwisata dan rekreasi alam.

2.12 Hutan Konservasi

Definisi hutan menurut Undang-undang Nomor 41 tahun 1999 tentang kehutanan, yaitu suatu kesatuan ekosistem berupa hamparan lahan berisi sumber daya alam hayati yang didominasi pepohonan dalam persekutuan alam lingkungannya, yang satu dengan lainnya tidak dapat dipisahkan. Hutan bermanfaat bagi manusia dalam berbagai cara. Seperti menyediakan barangbarang tertentu seperti kayu, kayu bakar dan tanaman yang dapat dimakan (layanan penyediaan), mengurangi bahaya alam dan biaya selanjutnya (mengatur layanan) dan manfaat lingkungan alam untuk rekreasi dan kesejahteraan (layanan budaya) (Allaby, 2010).

Banyak dari layanan ekosistem hutan ini sifat kompleks dan sangat spesifik lokasinya di Indonesia (Alikodra, 2002). Keanekaragaman hayati masuk kesemua kategori jasa ekosistem hutan, yaitu, penyediaan, pengaturan dan layanan budaya. Karena itu, ketika menghargai '„biodiversitas“ atau "perlindungan keanekaragaman hayati", penting untuk memikirkan layanan yang harus dimiliki dan dihargai. Layanan kultural selain dari rekreasi mungkin yang paling sulit mengukur. Penggunaan bagian keanekaragaman hayati sebagai layanan budaya mengacu untuk orang-orang yang menikmati ketika saat memiliki pandangan yang indah tentang alam. Bagian yang tidak digunakan terdiri dari nilai orang-orang yang diberikan kepada alam, misalnya, karena peran budayanya (Norton, 2004).

Kawasan hutan konservasi merupakan sumber hidrologi, daerah tangkapan air, pemasok air bagi daerah aliran sungai, untuk menjaga dan mengembangkan biodiversity bagi flora dan fauna, penyedia jasa lingkungan dan ekotourisme (IUCN, 2013). Undang-undang Nomor 41 Tahun 1999 menyebutkan bahwa pemerintah telah menetapkan hutan sesuai fungsi pokoknya yang terdiri dari hutan konservasi, hutan lindung dan hutan produksi. Hutan konservasi terbagi menjadi kawasan suaka alam, kawasan pelestarian alam dan taman buru. Hutan konservasi adalah kawasan hutan dengan ciri khas tertentu, yang mempunyai fungsi pokok pengawetan keanekaragaman tumbuhan dan satwa serta ekosistemnya, sebagaimana diatur dalam Undang - undang Nomor 5 Tahun 1990 tentang Konservasi Sumber Daya Alam Hayati dan Ekosistemnya.

Dalam undang-undang tersebut, disebutkan bahwa taman nasional adalah kawasan pelestarian alam yang mempunyai ekosistem asli, dikelola dengan sistem zonasi yang dimanfaatkan untuk tujuan penelitian, ilmu pengetahuan, pendidikan, menunjang budidaya, pariwisata, dan rekreasi. Taman nasional memiliki peran penting dalam konteks pembangunan berkelanjutan. Peran kawasan konservasi taman nasional dalam pelestarian sumberdaya alam dan kelangsungan pembangunan, yaitu wahana pengembangan ilmu pengetahuan, wahana pendidikan lingkungan, wahana wisata alam, sumber plasma nutfah, dan melestarikan ekosistem hutan sebagai pengatur tata air (Randall, 1982). Selain itu akhir-akhir ini juga telah terjadi peningkatan perhatian masyarakat tentang peranan hutan dalam perubahan iklim global dan konservasi biodiversitas (Utami dan Ulfah, 2008).

2.13 Peranan Hutan Sebagai Penyerap Karbon

Peranan hutan sebagai penyerap karbon mulai menjadi sorotan pada saat bumi dihadapkan pada persoalan efek rumah kaca, berupa kecenderungan Universitas Sumatera Utara peningkatan suhu udara atau biasa disebut sebagai pemanasan global. Penyebab terjadinya pemanasan global ini adalah adanya peningkatan konsentrasi

Gas Rumah Kaca (GRK) di atmosfer di mana peningkatan ini menyebabkan kesetimbangan radiasi berubah dan suhu bumi menjadi lebih panas (Karo, 2011).

Hutan berperan dalam upaya peningkatan penyerapan CO₂ di mana dengan bantuan cahaya matahari dan air dari tanah, vegetasi yang berklorofil mampu menyerap CO₂ dari atmosfer melalui proses fotosintesis. Hasil fotosintesis ini antara lain disimpan dalam bentuk biomassa yang menjadikan vegetasi tumbuh menjadi makin besar atau makin tinggi. Pertumbuhan ini akan berlangsung terus sampai vegetasi tersebut secara fisiologis berhenti tumbuh atau dipanen. Secara umum hutan dengan “net growth” (terutama dari pohon-pohon yang sedang berada pada fase pertumbuhan) mampu menyerap lebih banyak CO₂, sedangkan hutan dewasa dengan pertumbuhan yang kecil hanya menyimpan stok karbon tetapi tidak menyerap CO₂ berlebih.

Dengan adanya hutan yang lestari maka jumlah karbon (C) yang disimpan akan semakin banyak semakin lama. Oleh karena itu, kegiatan penanaman vegetasi pada lahan yang kosong atau merehabilitasi hutan yang rusak akan membantu menyerap kelebihan CO₂ di atmosfer (Adinugroho *et al*, 2009).

Tanaman atau pohon berumur panjang yang tumbuh di hutan maupun di kebun campuran (agroforestri) merupakan tempat penimbunan atau penyimpanan C (rosot C=C sink) yang jauh lebih besar dari pada tanaman semusim. Oleh karena itu, hutan alami dengan keragaman jenis pepohonan berumur panjang dan serasah yang banyak merupakan gudang penyimpanan karbon tertinggi (baik di Universitas Sumatera Utara atas maupun di dalam tanah). Hutan juga melepaskan CO₂ ke udara lewat respirasi dan dekomposisi serasah, namun pelaksanaannya terjadi secara bertahap, tidak sebesar bila ada pembakaran yang melepaskan CO₂ sekaligus dalam jumlah yang besar. Bila hutan diubah fungsinya menjadi lahan pertanian atau perkebunan maka jumlah karbon yang tersimpan akan merosot (Hairiah dan Rahayu, 2007 dalam Karo, 2011).

Hairiah dan Rahayu (2007), juga menyatakan bahwa jumlah karbon tersimpan antar lahan berbeda-beda, tergantung pada keragaman dan kepadatan tumbuhan yang ada, jenis tanahnya serta cara pengelolaannya. Penyimpanan karbon suatu lahan

menjadi lebih besar bila kondisi kesuburan tanahnya baik, atau dengan kata lain jumlah karbon tersimpan di atas tanah (biomassa tanaman) ditentukan oleh besarnya jumlah karbon tersimpan di dalam tanah (bahan organik tanah, BOT).

2.14 Kebijakan Pemerintah dalam Pengelolaan Hutan

Tata cara perubahan, peruntukan dan fungsi kawasan hutan dilakukan untuk memenuhi tuntutan dinamika pembangunan nasional dengan tetap berlandaskan optimalisasi distribusi fungsi, lestari dan berkelanjutan. Kebijakan yang ada inilah yang dijadikan dasar acuan pada penelitian ini, seperti peraturan mengenai izin pinjam pakai kawasan hutan, izin pelepasan kawasan hutan, izin tukar-menukar kawasan hutan dan izin perubahan fungsi kawasan hutan. Beberapa kebijakan dan peraturan pemerintah yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Izin Pinjam Pakai Kawasan Hutan

Pinjam pakai kawasan adalah hak penggunaan sebagian kawasan kepada pihak lain untuk kepentingan pembangunan diluar sektor non-kehutanan yang bersifat strategis dan terbatas tanpa mengubah status, peruntukan dan fungsi kawasan. Kebijakan ini mengacu pada Peraturan Menteri Kehutanan Nomor 43/Menhut/II/2008 dimana pinjam pakai kawasan hutan dapat berbentuk:

- (a) Pinjam pakai kawasan hutan untuk kepentingan pembangunan di luar kegiatan kehutanan yang bersifat non komersial pada Provinsi yang luas kawasan hutannya di atas 30% dari luas daratan provinsi, dengan tanpa biaya kompensasi PNPB Penggunaan Kawasan Hutan.
- (b) Pinjam pakai kawasan hutan untuk kepentingan pembangunan di luar kegiatan kehutanan pada provinsi yang luas kawasan hutannya di atas 30% (tiga puluh perseratus) dari luas daratan provinsi, dengan kompensasi PNPB Penggunaan Kawasan Hutan.

2. Izin Pelepasan Kawasan Hutan

Kebijakan pelepasan kawasan mengacu pada PP Nomor 10 Tahun 2010 dimana

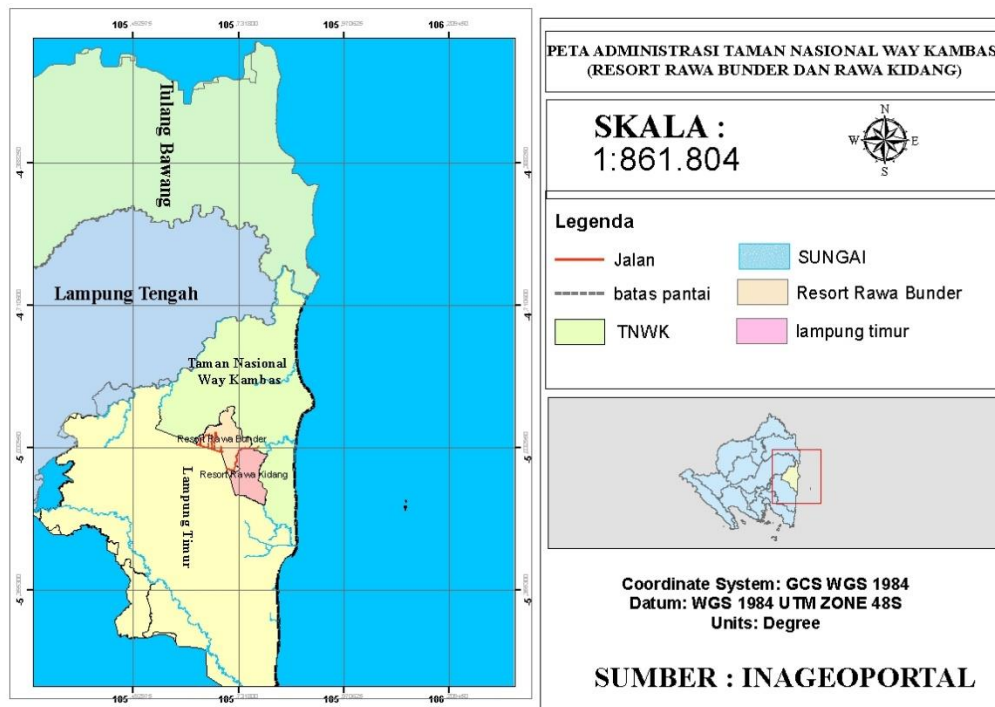
pelepasan kawasan hutan dalam SK bersama ini adalah pengubahan status kawasan hutan menjadi tanah yang dikuasa langsung oleh negara untuk keperluan Usaha Pertanian dan dalam peraturan ini terdapat beberapa pertimbangan sebagai berikut:

- a. Pelepasan kawasan hutan hanya bisa dilakukan di HPK;
- b. Kawasan hutan produksi yang dapat dikonversi sebagaimana dimaksud pada ayat (1) tidak dapat diproses pelepasannya pada provinsi yang luas kawasan hutannya kurang dari 30% (tiga puluh perseratus), kecuali dengan cara tukar menukar kawasan hutan.
- c. Hutan produksi yang dapat dikonversi sebagaimana dimaksud pada ayat (1), baik dalam keadaan berhutan maupun tidak berhutan.
- d. Pelepasan kawasan hutan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dilakukan untuk kepentingan pembangunan di luar kegiatan kehutanan.
- e. Jenis kepentingan pembangunan di luar kegiatan kehutanan sebagaimana dimaksud pada ayat (4) ditetapkan oleh Menteri.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November-Desember 2023, berlokasi di Taman Nasional Way Kambas, Resor Rawa Bunder, SPTN 1 Way Kanan dan SPTN III, Kuala Penet, Resor Margahayu, Rawa Kidang, Kabupaten Lampung Timur, Provinsi Lampung. Luas kawasan TNWK adalah 125,631.31 Ha, ditetapkan melalui Surat Keterangan Menteri Kehutanan Nomor 670/Kpts-II/1999 tanggal 26 Agustus 1999.



Gambar 5. Peta Way Kambas

3.2 Alat dan Objek Penelitian

Alat-alat yang akan digunakan antara lain *tally sheet*, alat tulis, kantong plastik, tali rafia, timbangan digital, meteran, hagameter, oven, koran, patok, gunting, GPS, kamera, laptop yang terdapat aplikasi *Microsoft office*. Adapun objek penelitian yaitu di plot tradisional Stasiun Rawa Bunder dan plot Rawa Kidang TNWK.

3.3 Pengumpulan Data

Jenis data yang digunakan adalah data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang dapat diukur, angka, dan hitungan. Data primer yang diambil adalah data tegakan pohon. Untuk pohon tegakan, data yang dikumpulkan meliputi diameter, tinggi total, dan tinggi bebas cabang. Data diambil dengan cara menentukan plot atau teknik jalur petak suatu wilayah yang akan dijadikan tempat peneliti. Data sekunder dapat diperoleh dari studi literatur dan instansi yang terkait untuk memperoleh data sekunder yang harus dikaji kembali mengenai hal-hal yang berkaitan dengan estimasi cadangan karbon.

3.4 Metode Pengambilan Sampel

3.4.1 Pembuatan Plot Penelitian

Luas kawasan TNWK adalah 125,631.31 Ha, ditetapkan melalui Surat Keterangan Menteri Kehutanan Nomor 670/Kpts-II/1999 tanggal 26 Agustus 1999. Luas keseluruhan dari Resor Rawa Bunder berkisar 6.000 ha dan Resor Margahayu, Rawa Kidang berkisar 59 ha. Plot yang digunakan sebanyak 10 plot dengan ukuran 1 plot yaitu 50m × 20m, untuk lokasi Plot Tradisional Rawa Bunder berkisar 5 Ha dan Plot C penanaman Rawa Kidang berkisar 5 Ha, Cara menentukan plot yang digunakan dalam 1 Ha yaitu dengan cara menghitung intensitas sampling.

Diketahui:

IS= 10% (10.000m)

Luas Area= 10 Ha

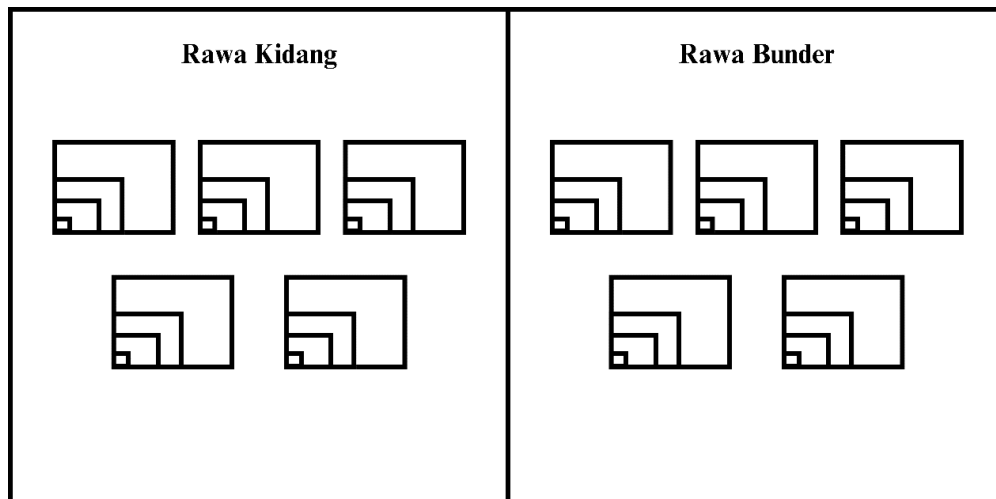
Luas 1 plot= 1 Ha

Ukuran plot= 50m × 20m= 1000m²

Jumlah plot sampel yang digunakan adalah;

$$IS = \frac{\text{Luas Area}}{\text{Ukuran Plot}} = \frac{10000}{1000} = 10 \text{ Petak}$$

Whittaker (1977) dan Shmida (1984), membuat plot standar untuk inventarisasi tumbuhan hayati berbentuk persegi panjang dengan ukuran 50m x 20m, Stohlgren *et al.* (1995), melakukan modifikasi plot, Whittaker (1977) dan plot Stohlgren (1994), menjadi plot berukuran 50m x 20m dengan sub plot tambahan untuk pengamatan setiap tingkat pertumbuhan tanaman. Pada tahap pertama dibuat plot berukuran 50m x 20m dengan subplot berukuran 10m x 10m, 5m x 5m, ukuran 2m x 2m. Pada petak 50m x 20m diukur diameter dan tinggi pohon ($D > 20$ cm), dan pada anak petak 10m x 10m diukur diameter dan tinggi anakan ($D > 10$ cm dari $D < 20 > 2$ cm hingga $D < 10$ cm), pengamatan vegetasi tumbuhan bawah (pancang dan tumbuhan bawah) dengan ukuran anak petak 5m x 5m dilakukan pada anak petak berukuran 2m x 2m. Dibawah ini adalah contoh gambar sketsa plot yang akan digunakan:



Gambar 6. Contoh Skema Plot Pengambilan Data

3.4.2 Sampling Error

Sampling error adalah kesalahan yang disebabkan oleh teknik pengambilan sampel atau kesalahan yang muncul dalam suatu proses pengumpulan data akibat digunakannya sebagian populasi. Sampling error untuk penelitian ini adalah sebesar <40%.

Tabel 1. Analisis Statistik untuk Sampling Error

Jenis tutupan lahan		Statistical Analysis						
	Rerata/ M_j	Simpangan Baku/ SD	Sample (n)	t-stat at 95% (t)	Confidence Interval/ CI	Lower Bound/ LB	Upper Bound/ UP	Sampling Error/ SE (%)
Tutupan lahan ke-j	$1/n \sum_{i=1}^n M_i$	$\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (M_i - M_j)^2}$	3	4,30	$\frac{SD \times t}{\sqrt{n}}$	$M_j - CI$	$M_j + CI$	$\frac{M_j}{CI} \times 100\%$
			5	2,78				
			8	2,37				
			10	2,26				
			50	2,01				
			100	1,98				
			∞	1,96				

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

Remarks: M_i =amount of carbon stock (in tC/ha) from cluster- i in forest cover type- j ; n =number of clusters in forest cover type- j

3.4.3 Indeks Nilai Penting

Nilai dominansi suatu jenis di setiap tingkat pertumbuhan diketahui dengan metode Indeks Nilai Penting (Muller-Dombois dan Ellenberg 1974):

$$INP = KR + FR + DR$$

Keterangan:

KR = Kerapatan Relatif

FR = Frekuensi Relatif

DR = Dominansi Relatif

3.4.3 Perhitungan Biomassa Pohon

Perhitungan jumlah biomassa pada pohon dilakukan dengan memanfaatkan rumus allometrik yang sesuai dengan jenis pohon yang bersangkutan.

Perhitungan volume dan bobot jenis (BJ) kayu dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Volume (cm}^3\text{)} = \pi r^2 t$$

$$\text{BJ (g cm}^3\text{)} = \frac{\text{Bobot Kering (g)}}{\text{Volume (cm}^3\text{)}}$$

Dimana :

$\pi = 22/7$ atau 3,14

r = jari-jari potongan kayu

t = panjang/tebal kayu

Selanjutnya menggunakan persamaan *biomass expansion factor* (BEF) sebagai berikut:

$$\text{Bap} = v \times \text{BJ} \times \text{BEF} \times f$$

Keterangan:

- Bap adalah biomasa atas permukaan (pohon), (kg);
- v adalah volume kayu bebas cabang, (m³);
- BJ adalah bobot jenis kayu, (kg/m³);
- BEF adalah *biomass expansion factor* (1,67 default).
- f adalah faktor angka bentuk pohon (default 0,7)

3.4.4 Pengukuran Biomassa Tumbuhan Bawah dan Seresah

Pengukuran biomassa tumbuhan bawah dan seresah dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) Seluruh tumbuhan bawah yang ada pada plot 2 m x 2 m dicabut dan dikumpulkan.
- 2) Bagian tumbuhan bawah ditimbang sebanyak 100 gram dan serasah ditimbang sebanyak 150 gram untuk mendapatkan berat basah.
- 3) Lakukan pengovenan dengan suhu 105°C selama 2 x 24 jam.

Untuk perhitungan biomassa tumbuhan bawah dilakukan dengan menghitung berat kering total yang sudah dioven tersebut. Adapun rumus yang digunakan untuk pengukuran berat kering total yakni:

$$BKT = \frac{BKc}{BBc} \times BBT$$

Keterangan:

BKT = bobot kering total (kg)

BKc = bobot kering contoh (kg)

BBc = bobot basah contoh (kg)

BBT = bobot basah total (kg)

3.4.5 Pengukuran dan Penghitungan Nekromassa

Potensi nekromassa dari pohon, tiang, pancang atau semai yang mati dapat diduga dengan menggunakan nilai biomassa pohon yang dikalikan dengan tingkat keutuhan pohon mati. Adapun rumus yang digunakan sebagai berikut:

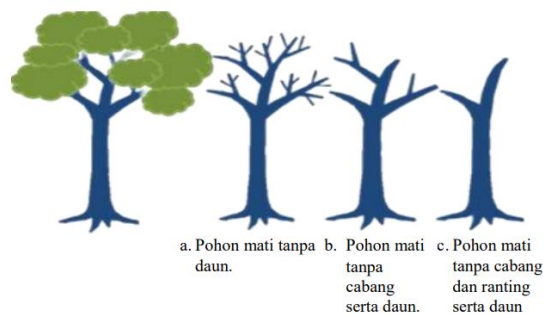
$$Ni = Bi \times f$$

Keterangan:

Ni = nekromassa (kg)

Bi = biomassa (kg)

F = tingkat keutuhan pohon mati



Gambar 7. Tingkat keutuhan pohon, tiang, dan pancang mati

Keterangan:

- A. Tingkat keutuhan pohon mati tanpa daun dengan faktor koreksi 0,9;
- B. tingkat keutuhan pohon tanpa daun dan ranting dengan faktor koreksi 0,8;
- C. tingkat keutuhan pohon tanpa daun, ranting, dan cabang dengan faktor koreksi 0,7.

3.4.6 Estimasi Potensi Karbon di Atas Permukaan Tanah

Kandungan karbon yang tersimpan dari tegakan, tumbuhan bawah, serasah maupun nekromassa dapat diestimasi dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$C = \text{biomassa (kg/ha)} \times 0,47$ (Syaufina dan Ikhsan, 2013). Secara lebih detail sebagai berikut:

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

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

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

Keterangan:

C = karbon (kg)

B = biomassa tumbuhan (kg)

N= Nekromassa (kg)

BKT = bobot kering tumbuhan bawah dan serasah (kg)

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

3.4.7 Perhitungan Karbon Per Hektar untuk Biomassa

Seluruh hasil perhitungan yang telah didapat diakumulasi ke dalam luasan per hektar. Rumus yang digunakan sebagai berikut (BSN, 2011):

Keterangan:

$$C_n = \frac{C_x}{1000} \times \frac{10000}{L_{\text{plot}}}$$

C_n = kandungan karbon per hektar pada masing-masing carbon pool pada tiap plot (ton/ha)

C_x = kandungan karbon pada masing-masing *carbon pool* pada tiap plot (kg)

L_{plot} = luas plot pada masing-masing *carbon pool* (m²)

3.4.8 Perhitungan Cadangan Karbon Total dalam Plot

Total cadangan karbon pada plot dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus sebagai berikut (SNI No. 7724,2011:35):

$$C_{\text{plot}} = (C_{\text{bap}} + C_{\text{bbp}} + C_{\text{seresah}} + C_{\text{tb}})$$

Keterangan:

C_{plot} = total kandungan karbon pada plot (ton/ha)

C_{bap} = total kandungan karbon biomassa atas permukaan per hektar pada plot

C_{seresah} = total kandungan karbon seresah per hektar pada plot (ton/ha)

C_{tb} = total kandungan karbon biomassa tumbuhan bawah per hektar pada plot (ton/ha)

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengukuran karbon tersimpan (*carbon stock*) di kawasan hutan Taman Nasional Way Kambas dapat disimpulkan bahwa:

1. Komposisi vegetasi di Plot Rawa Kidang dan Plot Tradisional Rawa Bunder nilai INP tertinggi tingkat pohon yaitu puspa dengan nilai INP sebesar 187,83%, Untuk tingkat tiang nilai INP tertinggi yaitu puspa (*Schima wallichii*) sebesar 166,7%, dan untuk tingkat pancang nilai INP tertinggi yaitu puspa (*Schima wallichii*) sebesar 137,48%. Nilai Biomassa pada Plot Rawa Kidang dan Plot Tradisional Rawa Bunder yaitu sebesar 35.83 ton/ha. Nilai biomassa tersebut rendah sesuai dengan HCS batas stok karbon rendah yaitu 20-35 ton/ha.
2. Total simpanan karbon dari Plot Rawa Kidang dan Plot Tradisional Rawa Bunder TNWK yang terdiri dari simpanan karbon pada pohon, tiang, pancang, tumbuhan bawah, serasah, dan nekromassa adalah 17.84 ton/ha. Faktor penting yang mempengaruhi stok karbon pohon adalah kerapatan tegakan dan jumlah pohon juga faktor yang menentukan simpanan karbon pada areal tersebut.

5.2 Saran

Pihak TNWK dan masyarakat sekitar kawasan dapat lebih berkontribusi dalam restorasi Rawa Kidang dan Restorasi Rawa Bunder seperti melakukan penanaman dan menjaga pohon-pohon yang ada disana, supaya baik penyerapan maupun menyimpan karbon dapat lebih meningkat lagi dan dapat membantu dalam capaian *Folu net sink* 2030 dimana hutan TNWK berkontribusi dalam 20% penyerapan

karbon, serta penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi peneliti berikutnya lebih mendalam tentang penelitian cadangan karbon yang bernilai ekonomis di hutan TNWK.

DAFTAR PUSTAKA

- Adji. 2023. Pohon Puspa Yang Kuat Bertahan di Segala Kondisi. <https://www.google.com/amp/s/lindungihutan.com/blog/kenalan-denganpohon-puspa/%3famp=1>. Diakses pada 11 Januari 2023 Pukul 16:00 WIB.
- Agus, F. 2007. *Cadangan, Emisi, dan Konservasi Karbon Pada Lahan Gambut; Bunga Rampai Konservasi Tanah dan Air*. Indonesian Soil and Water Conservation Society. Jakarta.
- Agus, F. 2008. *Panduan metode pengukuran karbon tersimpan di lahan gambut*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Agus, F., Hairiah, K., Mulyani, A. 2011. *Pengukuran Cadangan Karbon Tanah Gambut. Petunjuk Praktis*. World Agroforestry Centre-ICRAF, SEA Regional Office dan Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian (BBDSLPP). Bogor
- Allaby, M. 2010. *A Dictionary of Ecology*. Oxford University Press. UK
- Alikodra, H.S. 2002. *Pengelolaan Satwa Liar. Cetakan pertama. Jilid 1*. Fakultas kehutanan IPB. Bogor
- Alongi, D.M. 2012. Carbon sequestration in mangrove forests. *Carbon Management* 3(3): 313–322.
- Amalina, P., Prasetyo, L.B., Rushayati, S.B., 2016. *Forest Fire Vulnerability Mapping in Way Kambas National Park*. Procedia Environ. Sci. 33, 239–252.
- Arrijani., Setiadi, E., Guhardja, E., Qayyim, I. 2006. Analisis vegetasi hulu DAS Cianjur Taman Nasional Gunung Gede-Pangrango. *Biodiversitas*. 7(2): 147-153.
- Avery., Brukhart. 2002. *Forest Measurements*. McGraw-Hills series in Forest Resources. 5th Edition.

- Aprianti, F. 2013. Teknik pemanfaatan anakan alam puspa (*Schima wallichii* (DC.) Korth) di Hutan Pendidikan Gunung Walat Sukabumi [skripsi] Bogor: IPB University
- Aprianto, D., Wulandari, C., Masruri, N.W. 2016. Karbon tersimpan pada kawasan sistem agroforestri di register 39 datar setuju kphl batu tegi kabupaten tanggamus. *J. Sylva Lestari*. 4(1):21-30.
- Aprianto, M., Chusnan., Sudibyakto., Fandeli, C. 2016. *Kajian Luas Hutan Kota Berdasarkan Kebutuhan Oksigen, Karbon Tersimpan, dan Kebutuhan Air* di Kota Yogyakarta, Volume 24 No. 2 Halaman 82-100. Yogyakarta: Fakultas Geografi dan Fakultas Kehutanan UGM.
- Azham, Z. 2015. Estimasi Cadangan Karbon Pada Tutupan Lahan Hutan Sekunder, Semak Dan Belukar Di Kota Samarinda. *Jurnal AGRIFOR*, 18(2), 325-338.
- Badan Standarisasi Nasional, 2011. Pengukuran dan Perhitungan cadangan karbon-pengukuran lapangan untuk penaksiran cadangan karbon hutan (*Ground Based Forest Carbon Accounting*). SNI 7724:2011.
- Balai Taman Nasional Way Kambas. 2008. Buku Zonasi Taman Nasional Way Kambas. Lampung.
- Banjarnahor, K. G., Setiawan, A., Darmawan, A. 2018. Estimasi Perubahan Karbon Tersimpan di Atas Tanah di Arboretum Universitas Lampung. *Jurnal Sylva Lestari* 6(2): 51–59. DOI: 10.23960/jsl2651-59.
- Basuki, T.M., van Laake, P.E., Skidmore, A.K. Hussin, Y.A. 2009. *Allom equations for estimating the above-ground biomass in tropical low Dipterocarp forests*.
- Batjes, N.H. 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *Eur J Soil Sci*. 47 (2):151–63.
- Behera, B.C., Sethi, B.K., Mishra, R.R., Dutta, S.K., Thatoi, H.N. 2017. Microbial cellulases - Diversity dan biotechnology with reference to mangrove environment: A review. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. 15: 197-210.
- Birner, R., Wittmer, H. 2003. *Converting Social Capital into Political Capital. Di dalam: Constituting the Commons: Crafting Sustainable Commons in the New Millenium*. 291– 334.
- Bolte, A., Hilbrig, L., Grundmann, B.M., Roloff, A. 2014. Understory dynamics after disturbance accelerate succession from spruce to beech-dominated forest—the Siggaboda case study. *Annals of Forest Science*. 71(2):139-147.

- Bongaarts, J. 2009. Human population growth and the demographic transition. *Philos Trans R Soc B Biol Sci.* 364(1532): 2985–90.
- Boyd, P.W., Claustre, H., Levy, M., Siegel, D.A., Weber, T. 2019. Multifaceted particle pumps drive carbon sequestration in the ocean. *Nature.* 568 (7752): 327-35.
- Budiman M, Gusti H, Herlina D. 2010. Estimasi Biomassa Serasah dan Tanah Pada Basal Area Tegakan Meranti (*Shorea macrophylla*) di Kalimantan Barat. *Jurnal Hutan Lestari* Vol 3(1):98- 107.
- Butar-butur, T. 2019. Inovasi Manajemen Kehutanan untuk Solusi Perubahan Iklim di Indonesia. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan* 2019. Vol 6(2):103-120.
- Brown, S. 1999. *Guidelines for Inventorying and Monitoring Carbon Offsets in ForestBased Projects*. Winrock International, Arlington, VA.
- Caldeira, K. 2012. Avoiding mangrove destruction by avoiding carbon dioxide emissions. *Proc Natl Acad Sci USA.* 109 (36):14287-14288.
- Chapin, FS., Matson, P.A., Mooney, H.A. 2002. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. Springer. New York.
- Chave, J. 2014. *Improved Allometric Models to Estimate the Aboveground Biomass of Tropical Trees*. John Wiley & Sons Ltd. *Global Change Biology* 20: 3177-3190.
- Chazdon, R.L., Coe, F.G. 1999. Ethnobotany of woody species in second growth, old growth, and selectively logged forest of Noortheastern Costa Rica. *Conserv. Biol.* 13. 312-1322.
- Chuvieco, E., Congalton, R.G., 1989. *Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems to Forest Fire Hazard Mapping*. *Remote Sens. Env.* 159, 147–159.
- Darusman, D., Suharjito, D. 1998. *Kehutanan Masyarakat: Beragam Pola Partisipasi Masyarakat dalam Pengelolaan Hutan*. Buku. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 150.
- Dinas Kehutanan Provinsi Lampung. 2018. Kemajuan Status HKm Provinsi Lampung tahun 2018.
- Dede, M., Pramulatsih, G. P., Widiawaty, M. A., Ramadhan, Y. R., Ati, A. 2019. Dinamika suhu permukaan dan kepadatan vegetasi di kota cirebon. *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, 6(1), 23-30.

- Deng, S., Shi, Y., Jin, Y., Wang, L.H. 2011. A GIS-based approach for quantifying and mapping carbon sink and stock values of forest ecosystem: A case study. *Energy Procedia* 5(1):1535–1545.
- Departemen Kehutanan, 2004. *Peraturan Pemerintah No.45 Tahun 2004 tentang Perlindungan Hutan. Himpunan Peraturan Perundang-Undangan Bidang Perlindungan Hutan dan Konservasi Alam*, Direktorat Jenderal Perlindungan Hutan dan Konservasi Alam, Jakarta.
- Dewi, A., Tribuana, T., Syaufina, L., Puspaningsih, N. 2014. Pemanfaatan penginderaan jauh untuk estimasi stok karbon di area reklamasi PT. Antam UBPE Pongkor, Kabupaten Bogor. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 4 (1) pp. 49-59.
- Dixon, R.K., Brown, S., Houghton, R.A., Solomon, A.M., Trexler, M.C., Wisniewski, J. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*. 263: 185–190.
- Dixon, R.K. 1997. Silvicultural options to conserve and sequester carbon in forest systems: Preliminary economic assessment. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 27: 139–149.
- Djufri. 2012. Analisis vegetasi pada savana tanpa tegakan akasia (*Acacia nilorica*) di Taman Nasional Baluran Jawa Timur. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Biologi, Biologi Edukasi*. 4(2): 104-111.
- Dupont, C. 2012. *Climate change and biodiversity, in Global Network and European Actors, 1st Ed*. Routledge.1;16 hlm.
- Drury, S.A., Grissom, P.J., 2008. *Fire history and fire management implications in the Yukon Flats National Wildlife Refuge, interior Alaska*. For. Ecol. Manage. 256, 304–312.
- Erly, H., Wulandari, C., Safe'i, R., Kaskoyo, H., and Winarno, G. D. 2019. Keanekaragaman Jenis dan Simpanan Karbon Pohon di Resor Pemerihan, Taman Nasional Bukit Barisan Selatan. *Jurnal Sylva Lestari* 7(2): 139–149. DOI: 10.23960/jsl27139-149.
- Fachrul MF. 2007. *Metode Sampling Bioekologi*. Jakarta: Bumi Aksara.
- FAO. 2018. *Trade and nutrition technical note. Trade policy technical notes 21. Trade and food security*. Markets and Trade Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.

- Fathonah, D.S. 2013. Simpanan karbon pada komponen biomassa vegetasi hutan rakyat di Desa Plipir, Kecamatan Purworejo, Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Bumi Indonesia*. Vol. II (No.3). Hal. 4-5.
- Fearnside PM and WM Guimares. 1996. Carbon uptake by secondary forest in Brazilian Amazonia. *For. Ecol. Management* 80, 35-46.
- Fernando, A. 2009. Pendugaan simpanan karbon di atas permukaan lahan pada tegakan eukaliptus (*Eucalyptus*. Sp) di sektor habinsaran PT. Toba Pulp Lestari Tbk. *Skripsi*. Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Fitrah, M. 2015. *Kemampuan guru matematika dalam mengelola kelas melalui sumber belajar untuk meningkatkan aktivitas siswa*. In Prosiding Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika. Surabaya.
- Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R. 2005. Global consequences of land use. *Science*. 309(5734):570LP-574LP.
- FWI/GFW. 2001. *Keadaan hutan Indonesia*. Forest Watch Indonesia dan Washington D.C. Global Forest Watch. Bogor, Indonesia.
- Ginoga, K., Nurfatriyani, F. 2008. Persepsi para pihak dalam perancangan mekanisme distribusi pembayaran REDD di Provinsi Riau. *Jurnal penelitian sosial dan ekonomi kehutanan*. 5(3): 233-244.
- Hidayat, T. 2013. Emisi gas buang dan lambda pada engine stand efi berbahan bakar gasohol (E10) dengan perubahan sudut pengapian. *Politeknosains* 12(2):116–125.
- Hidayati, I.N. 2018. *7 karya 1 buku*. CV. Pelita Gemilang Sejahtera (PGS). Banjarnegara
- Hairiah, K., Ekadinata, A., Sari, R. R., Rahayu, S. 2011. *Pengukuran cadangan karbon: dari tingkat lahan ke bentang lahan edisi kedua*. World Agroforestry Centre (ICRAF). Bogor.
- Hairiah, K., Rahayu, S. 2007. *Petunjuk Praktis Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Macam Penggunaan Lahan*. World Agroforestry Centre (ICRAF). Malang.
- Hairiah, K., Rahayu, S. 2013. *Pengukuran karbon tersimpan di berbagai macam penggunaan lahan*. World Agroforestry Centre. Bogor.

- Hairiah, K., Rahayu, S. 2007. *Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai macam Penggunaan Lahan*. Bogor. World Agroforestry Centre –ICRAF, SEA Regional Office, University of Brawijaya, Indonesia.
- Handoko, P. 2017. Pendugaan simpanan karbon di atas permukaan lahan pada tegakan akasia (*Acacia mangium* Willd) di BKPH Parung Panjang KPH Bogor Perum Perhutani Unit II Jawa Barat dan Banten. *Skripsi*. Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Hendrawan, F., Satjapradja, O., Dharmawan, I.W.S. 2014. Potensi biomassa karbon tegakan, nekromas (Necromass) dan seresah (Litter) pada Hutan Penelitian Dramaga. *Journal Nusa Sylva*. 14(1): 1-9.
- Hikmatyar, M.F., Ishak, T.M., Pamungkas, A.P., Soffie, S., Rijaludin, A. 2015. Estimasi karbon tersimpan pada tegakan pohon di Hutan Pantai Pulau Kotok Besar, Bagian Barat, Kepulauan Seribu. *Jurnal Biologi*. 8(1): 40-45.
- Houghton, R. A. 2007. Balancing the global carbon budget. *Annu. Rev. Earth Planet.Sci*. 35:313–347.
- Huang, G.S., Ma, W., Wang, X.J., Xia, C.Z., Dang, Y.F. 2014. *Carbon reserve estimation of larch forest in northeast China*. *For. Sci*. 50, 167–174.
- <https://waykambas.org/sptn-i-way-kanan/> Diakses: 2 Maret 2023 Pukul 13:40 WIB.
- Indriyanto. 2006. *Ekologi Hutan*. Bumi Aksara. Jakarta
- Indrawati, E.D., Hermawan., Huboyo, H.S. 2015. Analisis emisi CO₂ antropogenik rumah tangga di Kelurahan Patukangan, Pekauman dan Balok, Kabupaten Kendal. *Indonesian Journal of Conservation*. 04(1): 45–51.
- Ikhwan, M., Sadjati, E., Insusanty, E. 2017. Pendugaan potensi tegakan ekaliptus (*Eucaliptus pellita* F. Meull). *Jurnal Wahana Forestra*. 12(2):130-137.
- IPCC. 2003. *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. Intergovernmental Panel on Climate Change National Greenhouse Gas Inventories Programme.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. Intergovernmental Panel on Climate National Greenhouse Gas Inventories Programme. [www. Ipcnggip. Iges.or. jp/lulucf](http://www.ipccnggip.iges.or.jp/lulucf).
- Istomo., Farida, N.E. 2017. Potensi simpanan karbon di atas permukaan tanah tegakan *Acacia nilotica* L (Willd) ex. Del. di Taman Nasional Baluran Jawa Timur. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 7(2): 155-162

- IUCN. 2013. *IUCN Red List of Threatened Species*. Junaedi, A. 2008. Kontribusi hutan sebagai rosot karbondioksida. *Jurnal Info Hutan* 5 (1): 1-7.
- Kasianus, R., Astiani, D., Iskandar, A. M. 2018. Estimasi kandungan karbon tegakan hutan di atas permukaan tanah pada berbagai kelas tutupan tajuk di hutan adat pengajit Kabupaten Bengkayan. *Jurnal Hutan Lestari*. 6(4): 952-962.
- Karo Dalam Angka. 2011. *Dokumen Nomor: 12115. 11. 01*. Badan Pusat Statistik. Jakarta
- Kauppi, P.E., Rautiainen, A., Korhonen, K.T., Lehtonen, A., Liski, J., Nöjd, P., Tuominen, S., Haakana, M., Virtanen, T. 2010. *Changing stock of biomass carbon in a boreal forest over 93 years*. *For. Ecol. Manag.* 259: 1239–1244.
- Keenan, R.J., Reams, G.A., Achard, F., de Freitas, J.V., Grainger, A., Lindquist, E. 2015. *Dynamics global forest area: results from the FAO Global Forest Resources Assessment*. *For Ecol Manag.* 352: 9-20.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2021. *Kerangka Kerja Investasi untuk Mengurangi Emisi dari Deforestasi dan Degradasi Hutan serta Peran Konservasi, Pengelolaan Hutan Berkelanjutan dan Peningkatan Stok Karbon Hutan (REDD+) di Indonesia*. Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Rencana Operasional *Indonesia's FOLU Net Sink* 2030. https://gakkum.menlhk.go.id/assets/filepublikasi/Buku_RENOPS_Indonesia_s_FOLU_NETSINK_2030.pdf. Diakses: 16 Desember 2023 Pukul 20:25 WIB.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Kementerian LHK Paparkan Rencana Operasional *Indonesia's FOLU Net Sink* 2030 Di Bumi Sriwijaya. <https://ppid.menlhk.go.id/berita/siaran-pers/6674/kementerian-lhk-paparkan-rencana-operasional-indonesias-folu-net-sink-2030-di-bumi-sriwijaya>. Diakses: 16 Desember 2023 Pukul 20:15 WIB.
- Kodra, A.S. Hadi., Syauckani, H.R. 2004. *Bumi Makin Panas, Banjir Makin Luas, Menyibak Tragedi Kehancuran Hutan*. Yayasan Nuansa Cendekia. Bandung
- Kumar, B.M., Rajesh, G., Sudheesh, K.G. 2005. Aboveground biomass production and nutrient uptake of thorny bamboo [*Bambusa bambos* (L.) Voss in the homegardens of Thrissur, Kerala. *Journal of Tropical Agriculture*. 43(1-2): 51-56.

- Kusminingrum, N. 2017. *Potensi Tanaman dalam Menyerap CO₂ Dan CO untuk Mengurangi Dampak Pemanasan Global*. Bandung.
- Kun, Y., Dongsheng, G. 2008. Change in forest biomass and carbon stock in the Pearl River Delta between 1989 and 2003. *Journal of Environmental Science* 20, 1439-1444.
- Kupas Tuntas. 2020. Dulu Langganan Kebakaran, Kini Rawa Kidang Menjadi Areal Restorasi Pakan Badak. <https://www.kupastuntas.co/2020/09/22/dulu-langganan-kebakaran-kini-rawa-kidang-menjadi-areal-restorasi-pakan-badak>. Diakses: 8 Juli 2023 Pukul 08:45.
- Kyrklund, B. 1990. The Potential of Forest and Forest Industry in Reducing Excess Atmospheric Carbon Dioxide. *Unasylva* 163(41).
- Krebs, J.C. 1978. *Ecology The Experimental Analysis of Distribution and Abundance*. Harper and Row Publisher. London.
- Laksemi, N.P.S.T., Sulistyawati, E., Mulyaningrum. 2019. Sustainable Social Forestry in Bali (A Case Study at Hutan Desa Wanagiri). *Jurnal Sylva Lestari*. 150-160.
- Laumonier, Y. 1997. *The Vegetation and Physiography of Sumatra*. Editor MJA Werger. Kluwer Academic Publisher. Netherland.
- Lestari, G. 2010. Pengaruh bentuk kanopi pohon terhadap kualitas estetika lanskap jalan. *Jurnal Lanskap Indonesia*. 2(1): 24-29.
- Manuri, S., Putra, C.A.S., Saputra, A.D. 2011. *Tehnik Pendugaan Cadangan Karbon Hutan*. Merang REDD Pilot Project. Sumatera Selatan.
- Mansur, I., Tuheteru, F.D. 2016. Kayu Jabon. *Penerbit Penebar Swadaya*.
- Ma, Q.Y., Xie, Z.M. 1996. Basic estimates of carbon storage in Chinese oil pine forests. *J. Beijing Univ*. 3: 31–34.
- Mass, G.C.B., Sanquette, C.R., Marques, R., Machado, S.A., Sanquetta, M.N.I. 2020. *Quantification of carbon in forest necromass: State of the art*. *Cerne*. 26 (1): 98-108.
- Masripatin. 2010. *Cadangan Karbon pada Berbagai Tipe Hutan dan Jenis Tanaman di Indonesia*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim dan Kebijakan. Bogor

- Mawazin., Suhendi, H. 2008. *Pengaruh jarak tanam terhadap pertumbuhan diameter Shorea parvifolia Dyer*. Penelitian Hutan dan Konservasi Alam. 5(4): 381-388.
- Melisa, A., Maabuat, P. V., & Saroyo. (2020). *Keanekaragaman dan Indeks Nilai Penting (seagrass) di Pesisir Kecamatan Gemeh, Kabupaten Kepulauan Talaud Sulawesi Utara*. 1(2), 85–92.
- Mulyana, D. 2015. *Suksesi vegetasi dan kualitas tanah ekosistem hutan pegunungan Papandayan pasca gangguan [tesis]* Bogor: IPB University.
- Miettinen, J., Chenchuashin., Liew, S.C. 2011. Deforestation rates in insular Southeast Asia between 2000 and 2010. *Global Change Biology*. 17: 2261-2270
- Molotoks, A., Smith, P., Dawson, T.P. 2021. Impacts of land use, population, and climate change on global food security. *Food Energy Security*. 10:261.
- Monde, A. 2009. Degradasi stok karbon (c) akibat alih guna lahan hutan menjadi lahan kakao di das nupu, sulawesi tengah. *Jurnal Agroland*. 16: 110-117.
- Mueller-Dombois, D. (2016. *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. J (Issue AUGUST 1974).
- Mueller, D.D., Ellenberg, H. 1974. *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. John Wiley and Sons. New York.
- Nahlunnisa, H., Zuhud, E.A.M., Santosa, Y. 2016. Keanekaragaman spesies tumbuhan di areal nilai konservasi tinggi (nkt) perkebunan kelapa sawit Provinsi Riau. *Media Konservasi*. 21(1): 91-98
- Natalia, D., Yuwono, S. B., 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.
- Nelson, E., Mendoza, G., Regetz, J. 2009. Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales. *Front Ecol Environ*. 7(1):4–11.
- Norton. 2004. *Crafting, Merajut strategi dan merbukannya menjadi aksi*. Bandung. Indonesia.
- Nugraha, Y. 2011. *Potensi Karbon Tersimpan di Taman Kota 1 Bumi Serpong Damai (BSD), Serpong, Tangerang Selatan Banten*.

- Oktaviani SI, Hanum L, Negara Z. 2017. Analisis vegetasi di Kawasan Terbuka Hijau Industri Gasing. *Jurnal Penelitian Sains*. 19(3):124–131.
- Pamudji, WH. 2011. *Potensi serapan karbon pada tegakan akasia*. Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 39—40
- Pan, Y.D., Birdsey, R.A., Fang, J.Y., Houghton, R., Kauppi, P.E., Kurz, W.A., Phillips, O.L., Shvidenko, A., Lewis, S.L., Canadell, J.G. 2011. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*. 333(6045): 988–993.
- Pranata, A.H., Asy'ari, M., Suyanto. 2023. Pendugaan potensi nekromassa berdasarkan indeks vegetasi, kelerengan, suhu permukaan lahan dan korelasinya di wilayah KHDTK Universitas Lambung Mangkurat. *Jurnal Hutan Tropis*. 11(3). 285-293.
- Prihatmaji, Y.P., Fauzy, A., Rais, S. Firdaus, F. 2016. Analisis carbon footprint gedung perpustakaan pusat, rektorat, dan lab. MIPA UII berbasis vegetasi eksisting sebagai pereduksi emisi gas rumah kaca. *Asian Journal of Innovation dan Entrepreneurship*, 1(2), 148-155.
- 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.
- Rahayu, S., B. Lusiana., dan M.V. Noordwijk. 2004. *Pendugaan Cadangan Karbon di Atas Permukaan Tanah di Berbagai Sistem Penggunaan Lahan di Kabupaten Nunukan, Kalimantan Timur*. Buku. Bogor: World Agroforestry Centre.
- Rajaguguk, C. P., Febryano, I.G., Herwanti, S. 2018. Perubahan Komposisi Jenis Tanaman dan Pola Tanam pada Pengelolaan Agroforestri Damar. *Jurnal Sylva Lestari*, 6(3), 18-27.
- Rawana. 2018. The Application of a Strength-Based Approach of Students' Behaviours to the Development of a Character Education Curriculum for Elementary and Secondary Schools. *The Journal of Educational Thought*; Autumn. 45. 2; ProQuest Research Library. 127.
- Rawana., Hardiwinoto, S., Budiadi., Rahayu, S. 2018. The Effect of Vegetation Community and Environment on *Gyrinops versteegii* Growth. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 24(1), 10– 22.
- Richards, P.W. 1996. *The Tropical Rain Forest on Ecological Study. 2nd Edition*. Cambridge University Press. United Kingdom.

- Ristiara, L., Hilmanto, R., and Duryat. 2017. Estimasi Karbon Tersimpan Pada Hutan Rakyat Di Pekon Kelungu Kabupaten Tanggamus. *Jurnal Sylva Lestari* 5(1): 128–138. DOI: 10.23960/jsl15128-138.
- Rizki, G. M., Bintoro, A., Hilmanto, R. 2016. Perbandingan emisi karbon dengan karbon tersimpan di hutan rakyat Desa Buana Sakti Kecamatan Batanghari Kabupaten Lampung Timur. *Jurnal Sylva Lestari*, 4(1), 89–96.
- Rizky, F.K., Laksamana, B., Fajar, M.D.A., Aisyah. 2022. Pemanasan Global Ditinjau Berdasarkan Perspektif Hukum Lingkungan Internasional di Kelurahan Padang Bulan Selayang I Kecamatan Medan Selayang. *Community Development Journal*. 3(3): 1401-1411.
- Roland, R. 2012. *Humanity for itself? Reflections on climate change and the Covid-19 pandemic*. Globalizations.18: 762-770.
- Rositah, E. 2005. Kemiskinan Masyarakat Desa Sekitar Hutan dan Penanggulangannya. *Jurnal Forest and Governance Programme*. No. 14:1-8
- Salim., H.S., S.H, M.S. 2004. *Dasar-Dasar Hukum Kehutanan*. Sinar Grafika. Jakarta.
- Saprudin, H. 2012. Potensi dan Nilai Manfaat Jasa Lingkungan Hutan Mangrove di Kabupaten Sinjai Sulawesi Selatan. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*. 9(3): 213-219.
- Seidl, R., Thom, D., Kautz, M., Martin-Benito, D., Peltoniemi, M., Vacchiano, G., Reyer, C.P. 2017. Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change*. 7(6): 395-402.
- Seidl, R., Fernandes, P.M., Fonseca, T.F., Gillet, F., Jönsson, A.M., Merganičová, K., Mohren, F. 2011. Modelling natural disturbances in forest ecosystems: a review. *Ecological Modelling*. 222(4) :903-924.
- Seidl, R., Schelhaas, M.J., Lexer, M.J. 2011. Unraveling the drivers of intensifying forest disturbance regimes in Europe. *Global Change Biology*. 17(9) :2842-2852.
- Shafi, M. I., Yarranton, G. A. 2014. Diversity, Floristic Richness, and Species Evenness During a Secondary (Post-Fire) Succession Author (s): M. I. Shafi and G. A. Yarranton Published by: *Ecological Society of America* Diversity, Floristic Richness, And Species Evenness During A. 54(4), 897–902.
- SNI 7724. 2011. Pengukuran dan Perhitungan Cadangan Karbon Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan (*ground based forest carbon accounting*).

- Siregar, C. A., and Heriyanto, N. M. 2010. *Akumulasi Biomassa Karbon pada Skenario Hutan Sekunder di Maribaya*. Bogor Jawa Barat Penelitian Hutan dan Konservasi Alam 7: 215– 226.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S.E., Fetzer, I., Bennett, E.M., Sörlin, S. 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*. 347(6223): 125985.
- Sujarwo, W., Darma, I.D.P. 2021. Analisis vegetasi dan pendugaan karbon tersimpan pada pohon di kawasan sekitar gunung dan danau Batur Kintamani Bali. *Jurnal Bumi Lestari*. 11(1): 85-92.
- Sutaryo, D. 2019. *Penghitungan Biomassa Sebuah Pengantar untuk Studi Karbon dan Perdagangan Karbon*. Wetlands International Indonesia Programme. Bogor.
- Sutarahardja SS, Hardjorajitno S, Manan, Ngadino W, Soekotjo P, WiroatmodjoY, Setiadi R, Atmawidjaja HB, Nasoetion, Soediono J. 1982. Pedoman dan petunjuk inventarisasi hutan. Direktorat Bina Program KehutananBogor. Bogor
- Supriatno, B. 2001. *Pengantar Praktikum Ekologi Tumbuhan*. FMIPA Universitas Pendidikan Indonesia: Bandung.
- Syaufina, L., Ikhsan, M. 2013. Estimasi simpanan karbon di atas permukaan lahan reklamasi pasca tambang PT. ANTAM UPBE Pongkar, Provinsi Jawa barat. *Jurnal Silvikultur Tropika*. 4(2): 100-107.
- Taboada, A., Fernández-García, V., Marcos, E., Calvo, L., 2018. *Interactions between large high-severity fires and salvage logging on a short return interval reduce the regrowth of fire-prone serotinous forests*. For. Ecol. Manage. 414, 54–63.
- Tim Arupa. 2014. *Menghitung Cadangan Karbon di Hutan Rakyat Panduan bagi Para Pendamping Petani Hutan Rakyat*. Buku. Biro Penerbit Arupa. Sleman. Hal 28.
- Toledo, M., Poorter, L., Peña- Claros, M., Alarcón, A., Balcázar, J., Leño, C., Bongers, F. 2011. Climate is a stronger driver of tree and forest growth rates than soil and disturbance. *Journal of Ecology*. 99(1): 254-264.
- Utami., Ulfah. 2008. *Konservasi sumber daya alam perspektif islam dan sains*. UIN malang press. Malang.
- Verstraeten, G., Baeten, L., Broeck, V.D.T., Frenne, D.P., Demey, A., Tack, W., Verheyen, K. 2013. Temporal changes in forest plant communities at different site types. *Applied Vegetation Science*. 16(2): 237-247.

- Vicharnakorn, P., Shrestha, R.P., Nagai, M., Salam, A.P., Kiratiprayoon, S. 2014. *Carbon Stock Assessment Using Remote Sensing and Forest Inventory Data in Savannakhet, Lao PDR*. *Remote Sens.* 6: 5452-5479.
- Viva Budy Kusnandar, 'Laju Deforestasi Hutan Primer Indonesia Peringkat 4 di Dunia' (databoks.katadata.co.id, 2021) accessed 11 January 2024.
- Wang, Y., Liu, X.G. 2009. *Advances in wood carbon sequestration research*. *World Forestry Res.* 22: 54–58
- Wulandari, C., BintoroA., Rusita, SantosoT., Duryat, Kaskoyo H., Erwin., Budiono P. 2018. *Adopsi hutan kemasyarakatan berbasis keanekaragaman jenis pohon multiguna menuju pengelolaan hutan lestari di ICEF Universitas Lampung, Indonesia*. *Keanekaragaman Hayati* 19(3): 1102–1109.
- Wulandari, C., Landicho, L.D., Cabahug, R.E.D. Baliton, R.S., Banuwa, R.S., Herwanti, S., Biono, P. 2019. Food Security Status Agroforestry Landscapes of Way Betung Watershed, Indonesia and Molawin Dampalit Subwatershed, Philippines. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 25(3), 164-172.
- Yuliartini, N.P.R., Pramita, K.D.2022. Implementasi Ratifikasi Paris Agreement Oleh Indonesia Dan Pengaruhnya Terhadap Kebijakan Perekonomian Indonesia. *Jurnal Komunikasi Hukum*. 469- 706.
- Yuniawati, dan S. Suhartana. 2014. Potensi karbon pada limbah pemanenan kayu acacia crassicarpa. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 12: 21-31.
- Yunita, L. 2016. Pendugaan Cadangan Karbon Tegakan Meranti (*Shorea leprosula*) Di Hutan Alam Pada Area Silin Pt Inhutani Ii Pulau Laut Kalimantan Selatan. *Jurnal Hutan Tropis*, 4(2), 187-197.
- Yuningsih, L., Lensari, D., Milantara, N. 2018. Perhitungan simpanan karbon atas permukaan di hutan lindung KPHP Meranti untuk mendukung program Redd+. *Jurnal Silva Tropika*. 2(3): 77-83.
- Zhang, N., Yu, G.R., Zhao, S.D., Yu, Z.L. 2003. *Study on Carbon Balance of Ecosystem in Changbai Mountain Nature Reserve*. *Environ Sci.* 1: 24-32.
- Zhang, Y., Zhou, X., Qin, Q.F., Chen, K. 2013. Value accounting of forest carbon sinks in China. *J Beijing for Univ* 35(6):124–131.
- Zhang, C, H., Ju, W.M., Wang, D.X., Wang, X.Q., Wang, X. 2018. Biomass carbon stocks and economic value dynamics of forests in Shandong Province from 2004 to 2013. *Acta Ecol Sin* 38(5):1739–1749.

- Zhao, C., Liu, B., Piao, S., Wang, X., Lobell, D.B., Huang, Y., Huang, M., Yao, Y., Bassu, S., Ciais, P., Durand, J.L., Elliot, t J., Ewert, F., Janssens., IA., Li, T., Lin, E., Liu, Q., Martre, P., Müller, C., Asseng, S. 2017. *Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 114(35):9326–9331.
- Zhao, J., Hu, H., Wang, J. 2022. Forest Carbon Reserve Calculation and Comprehensive Economic Value Evaluation: A Forest Management Model Based on Both Biomass Expansion Factor Method and Total Forest Value. Int. J. Environ. Res. *Public Health*. 19(15925): 1-15.
- Zulkarnain, S., Kasim, dan Hamid. 2015. Analisis vegetasi dan visualisasi struktur vegetasi hutan kota baruga, kota kendari. *J. Hutan Tropis*. 3(2): 99-109