

**ESTIMASI CADANGAN KARBON PADA BEBERAPA TIPE TUTUPAN
LAHAN DI KPH BATUTEGLI, KABUPATEN TANGGAMUS, PROVINSI
LAMPUNG**

(SKRIPSI)

Oleh

**SAYUDI
2014151073**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

ESTIMASI CADANGAN KARBON PADA BEBERAPA TIPE TUTUPAN LAHAN DI KPH BATUREGI, KABUPATEN TANGGAMUS, PROVINSI LAMPUNG

Oleh

SAYUDI

Perubahan iklim menjadi salah satu masalah lingkungan, salah satu faktor penyebabnya yaitu pemanasan global akibat efek gas rumah kaca. Peran hutan sebagai penyerap karbon dengan komposisi di dalamnya, baik itu pohon, pancang, tiang, dan semai bahkan bagian yang mati. Estimasi cadangan karbon dan distribusinya di berbagai ekosistem penting untuk memahami tingkat karbon yang dialokasikan ke komponen yang tidak stabil dan stabil. Tujuan penelitian ini yaitu menganalisis indeks nilai penting setiap fase tumbuh, nilai keanekaragaman, kemerataan, dan kekayaan, serta jumlah cadangan karbon di lahan hutan, agroforestri, dan monokultur. Penelitian dilakukan bulan September 2023 di Desa Datar Lebuay, Kecamatan Airnaningan, Kabupaten Tanggamus. Metode dalam penelitian ini menggunakan teknik *purposive sampling* dengan model persamaan alometrik. Hasil penelitian ini menunjukkan terdapat 731 individu dengan INP di lahan hutan pada fase pohon sebesar 44,41%, fase tiang sebesar 38,62%, fase pancang sebesar 54,91%, dan fase semai sebesar 46,89%, lahan agroforestri pada fase pohon sebesar 75,73%, fase tiang sebesar 66,41%, fase pancang sebesar 191,77% dan fase semai sebesar 112,86%, serta di lahan monokultur fase pohon sebesar 38,07%, fase tiang sebesar 82,14%, fase pancang sebesar 218,99%, dan fase semai sebesar 150,88%. Keanekaragaman jenis (H') di hutan sebesar 3,08, agroforestri sebesar 2,10, dan monokultur sebesar 2,04, kemerataan jenis (E) di lahan hutan sebesar 0,87, agroforestri sebesar 0,71, dan monokultur sebesar 0,75, kekayaan jenis (R) pada lahan hutan sebesar 6,25, agroforestri sebesar 3,12, dan monokultur 2,69. Rata-rata cadangan karbon yang tersimpan di ketiga lokasi penelitian yaitu pada lahan hutan sebesar 143,91 tonC/ha, agroforestri sebesar 78,79 tonC/ha, dan monokultur sebesar 47,92 tonC/ha.

Kata kunci : Cadangan karbon, indeks nilai penting, keanekaragaman, hutan

ABSTRACT

ESTIMATION OF CARBON STOCKS IN SEVERAL LAND COVER TYPES IN BATUREGI KPH, TANGGAMUS DISTRICT, LAMPUNG PROVINCE

By

SAYUDI

Climate change is one of the most significant environmental issues of our time. One of the primary causes is global warming, which is a consequence of the greenhouse effect. The forest plays a role in carbon absorption due to its composition, which includes trees, poles, posts, seedlings, and even dead parts. Estimating carbon stocks and their distribution across different ecosystems is important for understanding the level of carbon allocated to unstable and stable components. The objective of this study is to analyze the critical indices of each growth phase, including diversity, evenness, richness, dominance, and the carbon stock in forest, agroforestry, and monoculture lands. The study was conducted in September 2023 in Datar Lebuay Village, Airnaningan District, Tanggamus Regency. The research employed a purposive sampling technique with an allometric equation model. The results of the study indicate that there are 731 individuals with IVI in forest land at the tree stage (44,41%), pole stage (38,62%), sapling stage (54,91%), and seedling stage (46,89%), and at the tree stage (75,73%) in agroforestry land. The results also indicated that the percentage of individuals in the seedling phase was 191,77% higher in agroforestry than in monoculture, while the percentage of individuals in the juvenile phase was 218,99% higher in agroforestry than in monoculture. The diversity index (H') in the forest is 3,08, while in agroforestry it is 2,10 and in monoculture it is 2.04. The evenness index (E) in forest land is 0,87, in agroforestry it is 0,71, and in monoculture it is 0,75. The diversity index (R) for the forest land was 6,25, for agroforestry it was 3,12, and for monoculture it was 2,69. The mean carbon stock in the three study sites was 141,94 tonsC/ha in forest land, 78,79 tonsC/ha in agroforestry, and 47,92 tonsC/ha in monoculture.

Keywords : *Carbon reserves, index value importance, biodiversity, forests*

**ESTIMASI CADANGAN KARBON PADA BEBERAPA TIPE TUTUPAN
LAHAN DI KPH BATUTEGLI, KABUPATEN TANGGAMUS, PROVINSI
LAMPUNG**

Oleh:

SAYUDI

Skripsi

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

pada

**Jurusan Kehutanan
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

**Judul Skripsi : ESTIMASI CADANGAN KARBON PADA
BEBERAPA TIPE TUTUPAN LAHAN DI
KPH BATUTEGI, KABUPATEN
TANGGAMUS, PROVINSI LAMPUNG**

Nama Mahasiswa : Sayudi

Nomor Pokok Mahasiswa : 2014151073

Jurusan : Kehutanan

Fakultas : Pertanian



1. Komisi Pembimbing

Dr. Arief Darmawan, S.Hut., M.Sc.
NIP 197901072008011009

Dr. Hari Kaskoyo, S.Hut., M.P.
NIP 196906011998021002

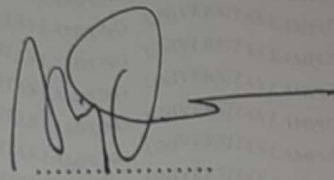
2. Ketua Jurusan Kehutanan

Dr. Bainah Sari Dewi, S.Hut., M.P., IPM.
NIP 197310121999032001

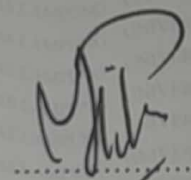
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

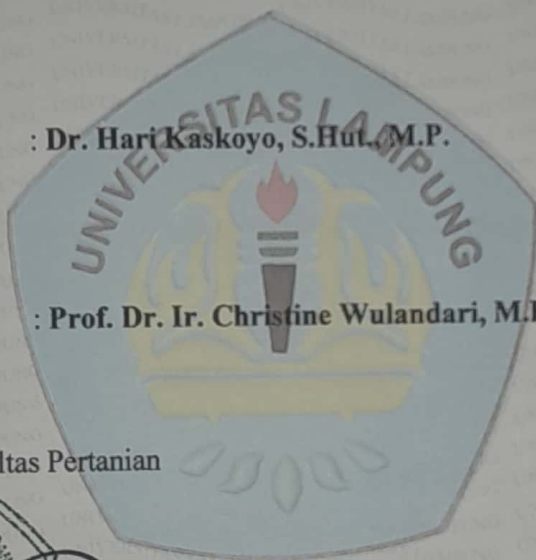
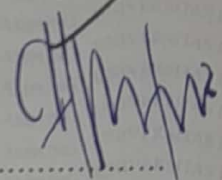
Ketua : Dr. Arief Darmawan, S.Hut., M.Sc.



Sekretaris : Dr. Hari Kaskoyo, S.Hut., M.P.



Anggota : Prof. Dr. Ir. Christine Wulandari, M.P., IPU.....

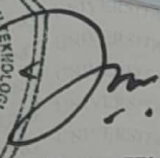


2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.

NIP 196411181989021002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 12 Desember 2024

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sayudi

NPM : 2014151073

Jurusan : Kehutanan

Alamat Rumah : Jalan Tanjung Pura V, RT 001/005, Kelurahan
Pegadungan, Kecamatan Kalideres, Kota Jakarta Barat,
Provinsi DKI Jakarta 11830

Menyatakan dengan ini sebenar-benarnya dan sesungguhnya, bahwa skripsi saya yang berjudul:

“Estimasi Cadangan Karbon Pada Beberapa Tipe Tutupan Lahan di KPH Batutegi, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung”

Adalah benar karya saya sendiri yang saya susun dengan mengikuti norma dan etika akademik yang berlaku. Saya juga tidak keberatan apabila sebagian atau seluruh data pada skripsi ini digunakan oleh dosen dan/atau program studi untuk kepentingan publikasi, jika dikemudian hari terbukti pernyataan saya tidak benar, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar sarjana maupun tuntutan hukum.

Bandar Lampung, 12 Desember 2024
Yang membuat pernyataan,



Sayudi
NPM 2014151073

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Sayudi atau akrab disapa dengan Yud, lahir di Jakarta, 09 September 2000. Penulis merupakan anak ke lima dari tujuh bersaudara dari pasangan Bapak Jari Bin Basir dan Ibu Ayatih. Penulis menempuh pendidikan di Madrasah Ibtidaiyah Negeri (MIN) 11 Pegadungan dari tahun 2008-2014 dan melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 204 Jakarta pada tahun 2014-2017 dan melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Atas (SMA) Swasta Fajrul Islam Jakarta pada tahun 2017-2020. Tahun 2020 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SMBPTN). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Jurusan Kehutanan (Himasyulva) sebagai anggota. Kegiatan keprofesional yang pernah diikuti penulis yaitu mengikuti kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada tahun 2022 selama 40 hari di Desa Tembelang, Kecamatan Bandar Negeri Suoh, Kabupaten Lampung Barat, Provinsi Lampung. Penulis melaksanakan Praktik Umum di KHDTK Kampus Universitas Gadjah Mada, Desa Getas, Ngandong yang terletak di Kabupaten Blora, Jawa Tengah dan KHDTK Wanagama I, Gunung Kidul, Yogyakarta selama 20 hari dengan tema Pengelolaan Hutan Lestari. Penulis juga melaksanakan magang tematik sekaligus ekspedisi mengenai Eksplorasi Keanekaragaman Burung di Resort Rawa Bunder, Taman Nasional Way Kambas, Kabupaten Lampung Timur, Provinsi Lampung selama 20 hari dan Eksplorasi Burung di Taman Kehati Galih Batin, Pekon Teba, Kabupaten Tanggamus selama 2 hari. Penulis merupakan salah satu anggota penelitian dan pengembangan tentang “Aspek Pemantauan Lahan dan

Keanekaragaman Hayati pada Program Rehabilitas Lahan Daerah Aliran Sungai di KPH Batutege” yang didanai oleh PT Nestle Indonesia. Penulis menghasilkan karya ilmiah yang dipresentasikan di Seminar Bilateral International Truva Scientific Researches and Innovation Congress di Turki dengan judul “*Composition and Diversity of Coffee Agroforestry Vegetation Types in The Sinar Harapan Farmer Group Association*”.

SANWACANA

Puji syukur kepada Allah SWT. yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Estimasi Cadangan Karbon Pada Beberapa Tipe Tutupan Lahan di KPH Batutegi, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung”. Penulisan skripsi ini tidak akan berjalan dengan baik tanpa adanya dukungan, bantuan, dan bimbingan dari berbagai pihak, sehingga penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., IPM., ASEAN Eng. selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
3. Ibu Dr. Bainah Sari Dewi, S.Hut., M.P., IPM. selaku Ketua Jurusan Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Ir. Gunardi Djoko Winarno, M.Si. selaku dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan, motivasi, saran serta kritik yang diberikan selama penulis menempuh perkuliahan.
5. Bapak Dr. Arief Darmawan, S.Hut., M.Sc. selaku pembimbing pertama yang telah membimbing penulis dengan penuh kesabaran dan memberikan arahan, nasihat, dan motivasi kepada penulis.
6. Bapak Dr. Hari Kaskoyo, S.Hut., M.P. selaku pembimbing kedua yang telah membimbing penulis dengan penuh kesabaran dan memberikan arahan, nasihat, dan motivasi kepada penulis.
7. Ibu Prof. Dr. Ir. Christine Wulandari, M.P., IPU. selaku dosen penguji utama. Terima kasih atas masukan, saran dan kritik yang membangun bagi penulis dan kesempurnaan skripsi ini.

8. Segenap bapak dan ibu dosen Jurusan Kehutanan yang telah memberikan wawasan dan ilmu pengetahuan kepada penulis selama masa perkuliahan di Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
9. Segenap pihak PT Nestle Indonesia yang telah mendanai penelitian ini, serta segenap para pengurus Gabungan Kelompok Tani (Gapoktan) Sinar Harapan dan Tresno Wana Jaya, di Desa Datar Lebuay, Kecamatan Air Nainingan, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung.
10. Orang tua penulis yaitu Bapak Jari Bin Basir dan Ibu Ayatih. Terima kasih atas segala doa, perjuangan, dan pengorbanan yang telah diberikan. Perjuangan bapak dan ibu menjadi salah satu alasan penulis kuat dan tidak menyerah sampai saat ini, beliau memang belum merasakan pendidikan sampai ke jenjang perkuliahan, namun beliau mampu mendidik dan mendukung penulis hingga mampu menyelesaikan studi ini hingga akhir.
11. Kakak penulis Yanto, Sayuti, Jariyah, Sariyah serta adik penulis Pina Sari dan Safinah. Terima kasih yang senantiasa mendukung dan memberikan kasih sayang serta motivasi, doa, dan bantuan material maupun non material selama perkuliahan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
12. Keluarga Besar Kehutanan Angkatan 2020 (Beavers) terima kasih atas dukungan yang diberikan.
13. Keluarga Besar Himpunan Mahasiswa Jurusan Kehutanan (Himasylva) Universitas Lampung yang telah memberikan wadah untuk berproses dan belajar.
14. Teman-teman seperbimbingan Achmad Rafly Gymnastiar dan Ruwaida Dzakiyyaa yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis.
15. Tim Nestle Tahun 2023 Achmad Rafly Gymnastiar, Azizul Rahmad Taufiq, Frada Setia Mona, Lusia Leni Maryani, Lusiana Tursina Silaban, Rizky Reza Maulana, Annisa, Fadela Yunika Sari, dan Brilian Arga Wiratama yang sudah membantu penulis dalam melakukan pengambilan data di lokasi penelitian.
16. Teman penulis Riski Nur Saripah dan Shita Sutika Rizki, terima kasih yang telah mendukung dan memberikan semangat, serta bantuan selama proses pembelajaran dan penyusunan skripsi.

17. Teman-teman, sahabat, dan kerabat yang telah banyak memberikan semangat dan dukungan penulis dalam akademik dan non-akademik.
18. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu oleh penulis yang telah banyak membantu penulis selama melakukan perkuliahan dan proses dalam penyusunan skripsi ini.
19. Kepada diri sendiri (Sayudi) yang mampu bertahan, berusaha keras, dan berjuang. Terima kasih sudah bertahan sampai detik ini, sudah berusaha menahan ego, sabar, tetap semangat, dan tidak putus asa atas pencapaian dalam menyelesaikan skripsi ini, meskipun banyak hal-hal yang membuat putus asa disaat proses menyelesaikan pencapaian ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekeliruan dan masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun diharapkan dari pembaca untuk kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis dan para pembaca.

Bandar Lampung, 12 Desember 2024

Penulis,

Sayudi

Karya tulis ini kupersembahkan untuk kedua orang tuaku tersayang Ayahanda Jari bin Basir dan Ibunda Ayatih, serta Kakak dan Adik penulis

Last but not least, thank you self for saving you

“Semua jatuh bangunmu hal yang biasa, angan dan pertanyaan, waktu yang menjawabnya, berikan tenggat waktu, bersedihlah secukupnya, rayakan perasaanmu sebagai manusia”

- Daniel Baskara Putra

“Hidup bukan untuk saling mendahului, berdirilah sendiri-sendiri”
- Daniel Baskara Putra *aka* Hindia

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	v
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	5
1.3. Kerangka Pemikiran.....	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1. Gambaran Umum Lokasi Penelitian	8
2.2. Kesatuan Pengelolaan Hutan (KPH).....	9
2.3. Keanekaragaman Hayati	10
2.4. Biomassa	11
2.5. Karbon Tersimpan.....	13
2.6. Siklus Karbon.....	15
2.7. Penggunaan Lahan	16
2.8. Tutupan Lahan	17
2.9. Vegetasi.....	18
2.10. Persamaan Alometrik.....	20
III. METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian	23
3.2. Alat dan Objek Penelitian	24
3.3. Jenis Pengumpulan Data	24
3.3.1. Data Primer	24
3.3.2. Data Sekunder.....	24
3.4. Pengambilan Data	25
3.4.1. Desain Sampling	25
3.4.2. Metode Sampling	25
3.5. Analisis Data	28
3.5.1. Perhitungan Analisis Vegetasi	28
3.5.2. Perhitungan Keanekaragaman Tumbuhan	29
3.5.3. Biomassa Atas Permukaan.....	31
3.5.4. Biomassa Bawah Permukaan (Akar)	32
3.5.5. Nekromassa.....	32
3.5.6. Perhitungan Estimasi Karbon.....	33

3.5.7. Perhitungan Cadangan Karbon Per Hektar pada Tiap Plot.....	33
3.5.8. Analisis Statistik Ketidakpastian dari Faktor Cadangan Karbo	34
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1. Komposisi Jenis Vegetasi	36
4.2. Indeks Nilai Penting di Tiga Tipe Tutupan Lahan.....	39
4.2.1. Indeks Nilai Penting di Lahan Hutan	40
4.2.2. Indeks Nilai Penting di Lahan Agroforestri	43
4.2.3. Indeks Nilai Penting di Lahan Monokultur.....	44
4.3. Indeks Keanekaragaman Tumbuhan	46
4.3.1. Indeks Keanekaragaman Jenis	46
4.3.2. Indeks Kemerataan Jenis.....	50
4.3.3. Indeks Kekayaan Jenis	53
4.4. Nilai Cadangan Karbon.....	55
4.4.1. Nilai Cadangan Karbon di Lahan Hutan.....	55
4.4.2. Nilai Cadangan Karbon di Lahan Agroforestri.....	58
4.4.3. Nilai Cadangan Karbon di Lahan Monokultur.....	61
4.5. Analisis Statistik Nilai Ketidakpastian Cadangan Karbon.....	62
4.6. Analisis Pendugaan Hubungan Nilai Cadangan Karbon	65
V. KESIMPULAN.....	71
5.1. Kesimpulan	71
5.2. Saran.....	72
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN.....	88

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Persamaan alometrik untuk pendugaan biomassa pohon.....	31
2. Analisis statistik nilai ketidakpastian dari faktor cadangan karbon	34
3. Komposisi jenis vegetasi.....	36
4. Jenis tumbuhan di lahan hutan	37
5. Jenis tumbuhan di lahan agroforestri	38
6. Jenis tumbuhan di lahan monokultur	38
7. Indeks nilai penting di lahan hutan	41
8. Indeks nilai penting di lahan hutan	43
9. Indeks nilai penting di lahan monokultur.....	45
10. Perbandingan nilai keanekaragaman jenis pada beberapa jenis di lahan hutan dan agroforestri.....	49
11. Nilai cadangan karbon di lahan hutan.....	56
12. Nilai cadangan karbon di lahan agroforestri	59
13. Nilai cadangan karbon di lahan monokultur	61
14. Analisis statistik nilai cadangan karbon.....	63
15. Model pendugaan cadangan karbon dengan kerapatan bidang dasar ...	66
16. Model pendugaan cadangan karbon dengan keanekaragaman jenis.....	68
17. Model pendugaan cadangan karbon dengan jumlah individu pohon....	69
18. Analisis regresi.....	93
19. Indeks nilai penting fase pohon, tiang, pancang, dan semai di lahan hutan.....	94
20. Indeks nilai penting fase pohon, tiang, pancang, dan semai di lahan agroforestri.....	98
21. Indeks nilai penting fase pohon, tiang, pancang, dan semai di lahan monokultur.....	100

22. Indeks keanekaragaman hayati pada fase pohon, tiang, pancang, dan semai di lahan hutan.....	102
23. Indeks keanekaragaman hayati pada fase pohon, tiang, pancang, dan semai di lahan agroforestri.....	106
24. Indeks keanekaragaman hayati pada fase pohon, tiang, pancang, dan semai di lahan monokultur.....	109
25. Rekapitulasi keanekaragaman hayati di lahan hutan	111
26. Rekapitulasi keanekaragaman hayati di lahan agroforestri.....	113
27. Rekapitulasi keanekaragaman hayati di lahan monokultur.....	114
28. Analisis data biomassa atas dan bawah permukaan tanah di lahan monokultur.....	115
29. Analisis data biomassa atas dan bawah permukaan tanah di lahan agroforestri.....	123
30. Analisis data biomassa atas dan bawah permukaan tanah di lahan hutan	139
31. Analisis data nekromassa pohon tegak (pohon mati).....	151
32. Analisis data nekromassa pohon rebah (kayu mati).....	155
33. Rekapitulasi biomassa (kg/m ³).....	158
34. Rekapitulasi karbon (ton).....	160
35. Rekapitulasi karbon (ton/ha).....	162

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pemikiran	7
2. Peta lokasi penelitian di kawasan KPH Batutegi	23
3. Prosedur pengukuran <i>Diameter Breast Height</i> (DBH)	26
4. Plot pengambilan sampel	28
5. Tingkat keutuhan pohon, tiang, dan pancang.....	33
6. Indeks keanekaragaman jenis (H') pada lahan hutan, agroforestri, dan monokultur	47
7. Indeks pemerataan jenis (E) pada lahan hutan, agroforestri, dan monokultur	51
8. Indeks kekayaan jenis (R) pada lahan hutan, agroforestri, dan monokultur	54
9. Hubungan cadangan karbon dengan kerapatan bidang dasar	65
10. Hubungan cadangan karbon dengan keanekaragaman jenis	67
11. Hubungan cadangan karbon dengan jumlah individu pohon.....	69
12. Pengukuran diameter pohon.....	89
13. Pengambilan plot sampel	90
14. Tutupan lahan agroforestri	90
15. Tutupan lahan hutan.....	91
16. Tutupan lahan monokultur	91
17. Surat tugas penelitian	92

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Hamparan lahan merupakan lahan yang terletak di dalam satu luasan di mana batas-batasnya dapat langsung dilihat. Hamparan lahan menggambarkan kondisi biofisik sebagai hamparan lahan yang ditumbuhi vegetasi yang didominasi pepohonan, dan fungsi ekologi dalam satu kesatuan ekosistem yang mampu menciptakan iklim mikro. Hamparan lahan memiliki area yang luas dengan karakteristik fisik tertentu, seperti jenis tanah, penggunaan lahan, dan topografi. Hamparan lahan biasanya memiliki ukuran cukup besar yang dapat mencakup hektar, kilometer persegi, atau bahkan lebih luas lagi. Hamparan lahan dibatasi oleh batas administratif seperti jalan raya atau batas alam seperti sungai dan gunung, mempunyai tujuan tertentu, seperti pertanian, hutan, perkebunan, dan permukiman. Upaya merencanakan penggunaan lahan dan pembagian wilayah dalam suatu kawasan untuk fungsi-fungsi tertentu, seperti pemukiman, industri, perdagangan, dan lain-lain yang dikenal sebagai tata guna lahan (Sawo *e al.*, 2021).

Hutan merupakan suatu kesatuan ekosistem berupa hamparan lahan berisi sumberdaya alam hayati yang didominasi pepohonan dalam persekutuan alam lingkungannya, yang satu dengan lainnya tidak dapat dipisahkan (UU No. 41 Tahun 1999). Hutan memiliki fungsi untuk pemeliharaan lingkungan sebagai pengatur tata air, iklim dan kualitas udara, *biodiversity*, vegetasi, dan kesuburan tanah. Hutan menjadi komponen penting dalam hal penyerapan karbondioksida (CO₂) di atmosfer. Komposisi yang ada di dalamnya, baik itu pohon, pancang, tiang, semai dan tumbuhan bawah bahkan bagian yang mati berperan dalam menyerap karbon. Karbon yang diserap oleh pohon dan bagian pohon mati akan disimpan dalam bentuk biomassa (Farmen *et al.*, 2014). Biomassa di atas permukaan tanah

merupakan sumber karbon terpenting yang mencerminkan kondisi fisik hutan (Darmawan *et al.*, 2022).

Hutan tropis dataran rendah dapat menyimpan sebagian besar karbon, vegetasi hutan dapat menyerap karbon dioksida melalui aktivitas fotosintesis dan mampu menyimpannya sekitar 76-78% karbon organik terestrial dalam bentuk biomassa. Hutan tropis dataran rendah memiliki resiko kerusakan yang paling tinggi dibandingkan dengan hutan lainnya (Latae *et al.*, 2019). Dengan demikian, dapat diartikan bahwa semakin tinggi kualitas hutan, maka semakin banyak pula karbon yang terserap, begitu pula sebaliknya dan dalam kondisi tertentu karbon dapat berubah menjadi molekul yang berbahaya (CO_2 , CH_4 , N_2O) di atmosfer dalam bentuk gas rumah kaca (GRK) yang menyebabkan pemanasan global (Farmen *et al.*, 2014). Hal tersebut dapat terjadi karena penyerap dan penyimpan karbon terbesar di atmosfer yaitu vegetasi hutan (Hakim *et al.*, 2021). Kemampuan vegetasi dalam menyerap karbon berbeda, sehingga hal ini dapat disiasati dengan mempertimbangkan jenis dan pola tanam yang diterapkan pada suatu daerah (Prihatmaji *et al.*, 2016; Wulandari *et al.*, 2021).

Menurut data *European Commission*, volume emisi gas rumah kaca Indonesia pada 2022 mencapai 1,24 Gt CO_2e . Salah satu penyebabnya adalah tingginya laju deforestasi dan degradasi hutan yang mencapai 1-2 juta ha/tahun (Sahuri, 2019). Studi tentang biomassa vegetasi hutan sangat penting untuk menentukan simpanan karbon dalam komponen pohon dominan dan mengukur karbon (Behera *et al.*, 2017). Estimasi cadangan karbon dan distribusinya di berbagai ekosistem penting untuk memahami tingkat karbon yang dialokasikan ke komponen yang tidak stabil dan stabil (Arslan *et al.*, 2020). Perubahan komposisi dan struktur hutan mempengaruhi pada cadangan karbon. Oleh karena itu, pendataan cadangan karbon hutan dari waktu ke waktu menjadi penting untuk memberikan indikator guna menilai kualitas sumberdaya hutan (Wahyuningsih *et al.*, 2013). Perubahan kawasan hutan atau konversi hutan menjadi kawasan bukan hutan, perladangan dan perambahan hutan, lahan pertanian, dan penebangan menjadi penyebab kerusakan hutan (Wahyuni *et al.*, 2021). Pengaruh perubahan tutupan lahan akan berdampak pada pemanasan global (Irwan *et al.*, 2015).

Salah satu sektor penyumbang emisi gas rumah kaca yaitu perubahan penggunaan lahan. Perubahan penggunaan lahan saat ini cenderung berdampak negatif seiring dengan peningkatan jumlah penduduk yang berdampak pada peningkatan emisi gas rumah kaca (Setiawan *et al.*, 2015). Penggunaan lahan dibentuk oleh beberapa faktor seperti, kebutuhan manusia, perilaku, dan karakteristik lingkungan, serta menentukan bagaimana lahan digunakan. Faktor-faktor tersebut selalu berubah, terjadi pada skala ruang dan waktu yang berbeda, dan terkadang memiliki efek positif dan negatif. Di negara berkembang, perubahan tutupan lahan terjadi dengan cepat (Aklile *et al.*, 2014). Menurut Yu *et al.* (2014), perubahan tutupan lahan yang cepat akan berdampak negatif pada sistem ekologi dan lingkungan, yang akan mempengaruhi pada cadangan karbon. Salah satu pertimbangan dalam menyimpan stok karbon yaitu dengan mengurangi emisi karbon yang ada. Setiap tutupan lahan memiliki nilai cadangan karbon yang berbeda. Nilai cadangan karbon yang diperoleh untuk setiap lahan dipengaruhi oleh pola penggunaan lahan (Pandey *et al.*, 2019).

Agroforestri merupakan sistem pengelolaan tanaman hutan yang dikombinasikan dengan tanaman pertanian. Menurut *International Council for Research in Agroforestry* (ICRAF), agroforestri merupakan pengelolaan lahan yang berdasarkan kelestarian untuk meningkatkan hasil lahan secara keseluruhan dengan kombinasi tanaman produksi, tanaman hutan, dan hewan secara bersamaan pada lahan yang sama (Rudinsah *et al.*, 2018). Kesatuan Pengelolaan Hutan (KPH) Batutegi yaitu unit pengelolaan hutan yang terletak di Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung. Salah satu pola tanam yang diterapkan di KPH Batutegi yaitu agroforestri kopi. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Aprianto *et al.* (2016), penyerapan karbon secara umum di KPH Batutegi berada pada kategori baik. Kajian potensi karbon belum membedakan pola agroforestri di lokasi penelitian. Pola tersebut berupa pola tanam agroforestri sederhana atau pola tanam agroforestri kompleks (Wulandari *et al.*, 2021).

Monokultur merupakan sistem budidaya pada suatu lahan yang ditanami oleh satu jenis tanaman (Evizal dan Prasmatiwi, 2021) yang akan berdampak pada kualitas tanah (Junaidi *et al.*, 2021). Pola tanam dengan kemampuan penyerapan karbon yang baik dapat meminimalisir efek pemanasan global. Selain itu,

memberikan peluang untuk pasar karbon di masa depan (Stevanus, 2014). Penelitian tentang estimasi cadangan karbon di KPH perlu dilakukan. Selain sebagai dasar penyusunan rencana pengelolaan KPH Batuteги, peran vegetasi sebagai penyerap karbondioksida menjadi bagian penting, dalam mengatasi pemanasan global yang disebabkan meningkatnya kadar gas rumah kaca. Keberadaan vegetasi yang dapat menyerap karbondioksida diperlukan dalam menciptakan masyarakat rendah karbon (*low carbon society*) dan perlu mendapatkan apresiasi sebagai bagian dari jasa lingkungan (Adinugroho *et al.*, 2013). Selain itu, dengan mengetahui besarnya cadangan karbon (pada hutan, agroforestri, dan monokultur) di lokasi penelitian, dapat dijadikan sebagai dasar untuk menganalisis cadangan karbon di KPH Batuteги (Wulandari *et al.*, 2021).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Muhardi *et al.* (2012), mengenai perubahan terhadap persediaan hara dan karbon, yang diperoleh cadangan karbon pada hutan alam yaitu dengan rata-rata sebesar 278,29 ton/ha. Menurut Pangestu (2023), cadangan karbon yang berada di lahan hutan pada Gapoktan Karya Bakti KPH Batuteги lebih tinggi yaitu sebesar 234,18 ton/ha, dibandingkan dengan lahan agroforestri yang hanya sebesar 95,07 ton/ha dan pada lahan monokultur kopi paling rendah yaitu sebesar 70,34 ton/ha.

Keanekaragaman jenis tumbuhan pada berbagai tutupan lahan di KPH Batuteги memiliki kemampuan menyimpan dan menyerap karbon yang bervariasi, karena jenis tumbuhan yang berbeda dan pengelolaan lahannya yang berbeda juga. Keanekaragaman, kerapatan, dan pengelolaan lahan yang berbeda, akan mengindikasikan perbedaan nilai cadangan karbon pada masing-masing tutupan lahan (Ariyanti, *et al.*, 2018). Indeks Nilai Penting (INP) yaitu salah satu indikator yang berperan dalam suatu komunitas spesies. Semakin besar nilai INP akan menggambarkan semakin besar peran suatu spesies dalam komunitasnya, dan sebaliknya (Rawana *et al.*, 2022). Tutupan lahan dengan cadangan karbon yang tinggi belum tentu memiliki keanekaragaman tinggi juga, dan sebaliknya. Semua tergantung pada tipe tutupan lahan (Rahayu dan Harja, 2015).

Penelitian mengenai cadangan karbon pada lahan hutan, agroforestri, dan monokultur penting dilakukan, karena belum banyak penelitian yang membandingkan ketiga tutupan lahan tersebut, berada di lokasi Gapoktan Sinar

Harapan dan Gapoktan Tresno Wana Jaya di Desa Datar Lebuay, di dukung oleh Perseroan Terbatas (PT) Nestle Indonesia dalam pengelolaan lahan di Hutan Kemasyarakatan (HKm). PT. Nestle Indonesia merupakan anak perusahaan Nestle S.A, yaitu sebuah perusahaan makanan dan minuman terkemuka di dunia dalam bidang kesehatan, gizi, dan keafiatan (*health, nutrition, wellness*). PT. Nestle Indonesia berkomitmen untuk membangun bisnis yang berkelanjutan mendukung lingkungan yang lebih baik (Nestle, 2020). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui cadangan karbon yang tersimpan di dalamnya. Informasi yang akurat mengenai karbon hutan yang tersimpan dalam biomassa sangat diperlukan untuk menggambarkan kondisi ekosistem hutan dalam rangka pengelolaan sumberdaya hutan yang lestari sehingga menguntungkan secara ekonomi dan ekologi. Berdasarkan dari latar belakang yang telah dijelaskan, maka dapat dirumuskan beberapa masalah yang menjadi fokus dalam penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Berapa indeks nilai penting pada setiap fase tumbuh di lahan hutan, agroforestri, dan monokultur?
2. Berapa nilai indeks keanekaragaman jenis, kemerataan jenis, dan kekayaan jenis, di lahan hutan, agroforestri, dan monokultur?
3. Berapa rata-rata cadangan karbon yang tersimpan pada lahan hutan, agroforestri, dan monokultur?

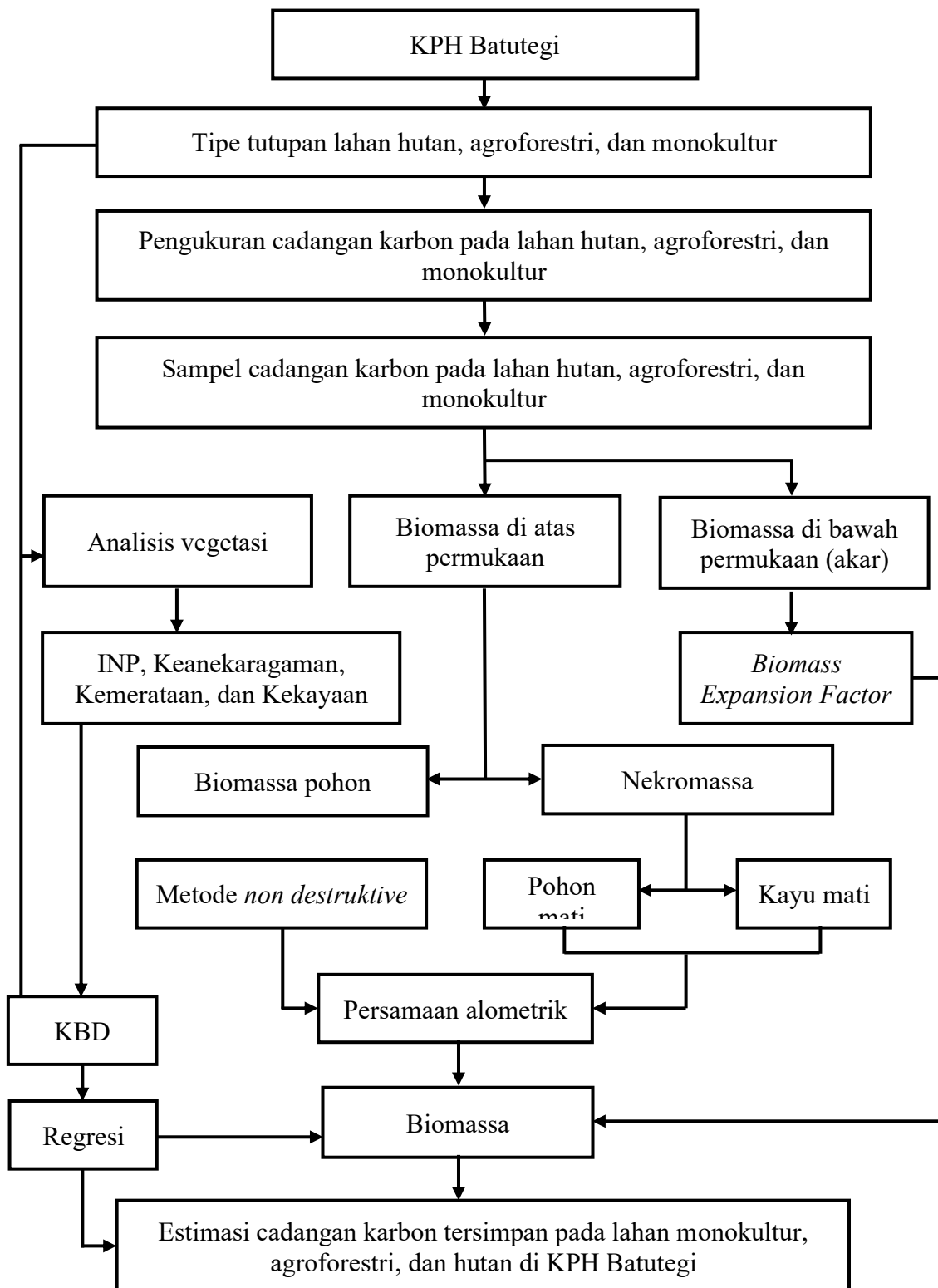
1.2. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang telah dijabarkan, maka penelitian ini bertujuan sebagai berikut.

1. Menganalisis indeks nilai penting pada setiap fase tumbuh di lahan hutan, agroforestri, dan monokultur.
2. Menganalisis nilai keanekaragaman jenis, kemerataan jenis, dan kekayaan jenis di lahan hutan, agroforestri, dan monokultur.
3. Menganalisis jumlah cadangan karbon yang terkandung pada lahan hutan, agroforestri, dan monokultur.

1.3. Kerangka Pemikiran

Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode deskriptif. Sesuai dengan namanya, tujuan penelitian deskriptif untuk memberikan gambaran, menjelaskan, mendeskripsikan, dan menganalisis fenomena yang diteliti (Ramdhan, 2021). Penelitian tersebut bertujuan seberapa banyak cadangan karbon yang tersimpan dan berapa banyak karbondioksida yang diserap dari atmosfer pada lahan hutan, agroforestri, dan monokultur di KPH Batutege, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung. Estimasi cadangan karbon dilakukan menggunakan persamaan alometrik, untuk mengetahui cadangan karbon yang disimpan, maka dilakukan pengukuran terhadap lingkaran batang pohon, dan nekromassa pada pohon mati dan kayu mati, serta perhitungan bawah permukaan (perakaran). Analisis vegetasi dilakukan untuk mengetahui komposisi vegetasi secara bentuk (struktur) dari tumbuhan. Analisis vegetasi dapat diperoleh dari informasi kuantitatif mengenai komposisi dan struktur suatu komunitas tumbuhan. Perhitungan analisis vegetasi dapat dihitung, yaitu kerapatan relatif, frekuensi relatif, dan dominasi relatif, serta indeks nilai penting. Berikut disajikan kerangka pemikiran pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka pemikiran

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di Gabungan Kelompok Tani (Gapoktan) Sinar Harapan dan Gapoktan Tresno Wana Jaya, Dusun Sekampung Kuning dan Dusun Citra Laksana, Desa Datar Lebuay, Kecamatan Air Nainingan, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung. Luas Gapoktan Sinar Harapan 4.834,00 ha sedangkan luas Gapoktan Tresno Wana Jaya 1.781,20 ha. Kedua Gapoktan tersebut berada di kawasan KPH Batuteги yang terletak di DAS Way Sekampung yang memiliki tiga sungai utama, yaitu Way Sekampung yang mengalir dari pegunungan di sisi barat, Way Sangharus yang bermuara dari Gunung Rindingan, dan Way Rilau yang mengalir dari pegunungan di sisi utara. Luas wilayah areal KPH Batuteги secara keseluruhan, sesuai dengan Keputusan Menteri Kehutanan No. SK.68/Menhut-II/2010 tanggal 28 Januari 2010, seluas 58.174 hektar yang dibagi menjadi 3 register yang terletak di 4 kabupaten, yaitu Kabupaten Tanggamus, Pringsewu, Lampung Tengah, dan Lampung Barat (KPHL Batuteги, 2014).

Kawasan KPH Batuteги sebagian besar yaitu *cacthment area* yang ada di bendungan Batuteги menjadi salah satu area penting yang ada di Provinsi Lampung. Areal terdiri dari kawasan hutan seluas \pm 35.711 ha (82,28%) dan APL seluas \pm 7.693 ha (17,72%). Batas KPH Batuteги adalah sebagai berikut:

1. Sebelah utara: Nonhutan Areal Penggunaan Lahan (APL) dan KPHL Unit VII
2. Sebelah selatan: Nonhutan (APL)
3. Sebelah barat: Nonhutan (APL) dan KPHL Kota Agung Utara
4. Sebelah timur: Nonhutan (APL) dan KPHL Unit VII

Pengelolaan hutan di KPH perlu menerapkan konsep yang menjadikan hutan lestari dan masyarakat sejahtera. Pengelolaan yang efektif dan berkelanjutan dapat dilakukan dengan mengelola hutan sesuai dengan fungsi dan tujuannya yang utama

(Purnomo *et al.*, 2019). Fungsi KPH sebagai upaya untuk memaksimalkan penggunaan hutan dan juga sebagai sumber data dan informasi tentang kawasan hutan (Maryudi, 2016). Oleh karena itu, pengembangan KPH diharapkan dapat memberikan keuntungan bagi pemangku kepentingan dalam sektor kehutanan (Damanik dan Purba, 2019). Jika peran KPH dilaksanakan dengan baik, hal ini dapat memimpin upaya untuk mencapai harmonisasi dalam pengelolaan hutan antara berbagai pihak demi mencapai tujuan hutan lestari. Salah satu contoh adalah KPH Batutege yang merupakan kawasan hutan lindung dengan keanekaragaman tumbuhan dan satwa serta ekosistemnya yang harus dijaga kelestariannya.

2.2. Kesatuan Pengelolaan Hutan (KPH)

Kesatuan Pengelolaan Hutan (KPH) ialah keputusan pemerintah untuk mencapai pemanfaatan hutan yang lestari melalui pengelolaan hutan pada tingkat tapak. Selama ini, pemanfaatan hutan dengan mekanisme perijinan perusahaan hutan yang tidak memiliki komitmen yang baik menyebabkan kerusakan hutan, perambahan, dan konflik di wilayah hutan (Budiningsih *et al.*, 2016). Konsep pengelolaan hutan hingga tingkat tapak, dimana pemerintah bertugas sebagai pengelola dan penjaga hutan, tujuan pengelolaan hutan yang lestari dapat dicapai. KPH yang beroperasi dengan baik dan menuju KPH mandiri, diperlukan komitmen yang kuat dan upaya besar terutama dari pemerintah pusat dan pemerintah daerah dalam pengadaan sumber daya manusia, penganggaran, dan penerapan pola keuangan yang mandiri (Budiningsih *et al.*, 2016).

Adanya KPH diharapkan dapat memainkan peran sebagai pengelola di tingkat tapak untuk mencapai pengelolaan hutan yang lestari. Kebijakan KPH diharapkan dapat menjadi kondisi yang memungkinkan untuk meningkatkan tata kelola hutan, mempercepat rehabilitasi hutan dan lahan, memperlambat degradasi, melindungi dan menjaga hutan, mengoptimalkan pemanfaatan hutan, meningkatkan pasokan hasil hutan yang stabil, serta menyediakan data dan informasi kawasan hutan. Secara umum, tujuan dari kebijakan pembentukan KPH adalah memberikan kepastian mengenai areal kerja pengelolaan hutan, wilayah tanggung jawab pengelolaan, dan satuan perencanaan pembangunan dan

pengelolaan hutan, yang semuanya merupakan Syarat penting bagi pengelolaan hutan berkelanjutan (Maryudi, 2016).

Kesatuan Pengelolaan Hutan (KPH) yang didirikan merupakan unit pengelolaan hutan terkecil yang sesuai dengan fungsi utama dan tujuannya yang bisa dikelola dengan lestari, efisien, dan bertanggung jawab terhadap pelaksanaan tata kelola hutan, pelaksanaan pengelolaan hutan, dan penyusunan rencana pengelolaan hutan. Pengelolaan hutan secara lestari dapat diwujudkan dengan membagi seluruh kawasan hutan menjadi kesatuan pengelolaan hutan, baik itu Kesatuan Pengelolaan Hutan Lindung (KPHL), Kesatuan Pengelolaan Hutan Konservasi (KPHK), maupun Kesatuan Pengelolaan Hutan Produksi (KPHP). Pembangunan KPH sebagai kebijakan publik membutuhkan dukungan penuh dari semua pihak dalam mengimplementasikannya. Hal ini dikarenakan efektivitas implementasi kebijakan publik sangat menentukan keberhasilan sebuah kebijakan publik. Implementasi kebijakan publik ialah hal yang paling sulit dalam semua proses kebijakan publik, dibandingkan dengan perumusan, evaluasi atau monitoring kebijakan publik. Hal ini disebabkan karena dalam mengimplementasikan sebuah kebijakan publik, terkadang harus menghadapi berbagai kompleksitas permasalahan yang tidak ditemukan dan diprediksi dalam konsep awal (Ruhimat, 2010). Tambahan dari itu, KPH berperan penting dalam mengarahkan pembangunan yang berkelanjutan dari segi ekonomi, pengurangan dampak dan penyesuaian terhadap perubahan iklim, serta pelestarian keragaman hayati. Pembentukan KPH diharapkan dapat menjadi pemicu untuk memperbaiki masalah pengelolaan hutan di Indonesia (Rahmadanty *et al.*, 2021). Pembentukan KPH, juga dilakukan dengan memperhatikan karakteristik tanah, jenis hutan, peran hutan, situasi daerah aliran sungai, aspek sosial budaya, ekonomi, batas administratif pemerintahan, dan kelembagaan masyarakat setempat (UU No. 41 Tahun 1999; Prayitno dan Ichsan, 2021).

2.3. Keanekaragaman Hayati

Keanekaragaman hayati, atau *biodiversity* adalah istilah yang menerangkan berbagai macam makhluk hidup di bumi, termasuk tumbuhan, hewan, jamur, dan mikroorganisme, serta berbagai materi genetik dan faktor ekologi yang

mempengaruhinya (Mokodompit *et al.*, 2022). Menurut Widia *et al.*, (2018), menyatakan bahwa keanekaragaman flora dan fauna Indonesia harus dilindungi dan dilestarikan agar masyarakat dapat memanfaatkannya untuk kepentingan masa depan. Keanekaragaman hayati terdiri dari tiga tingkatan, yaitu keanekaragaman genetik, spesies, dan ekosistem (Yuliani *et al.*, 2023).

1. Keanekaragaman genetik merupakan gen yang berbeda-beda yang ada di semua spesies hidup, termasuk tanaman, hewan, jamur, dan mikroorganisme. Susunan gen yang berbeda-beda dimiliki oleh setiap individu dalam satu spesies.
2. Keanekaragaman spesies adalah perbedaan dan jumlah jenis makhluk hidup di suatu lokasi tertentu.
3. Keanekaragaman ekosistem menunjukkan variasi bentuk ekosistem di suatu tempat. Ini mencakup semua habitat, komunitas biologis, dan proses ekologis yang berbeda-beda.

Indonesia adalah negara kepulauan yang terletak di kawasan tropis antara dua benua (Asia dan Australia) dan dua samudera (Hindia dan Pasifik). Sekitar 17.500 pulau yang ada di Indonesia, dengan luas sekitar 9 juta km², dengan 2 juta km² di daratan dan 7 juta km² di lautan. Meskipun luas wilayah Indonesia hanya sekitar 1,3% dari luas bumi, Indonesia memiliki tingkat keberagaman kehidupan yang luar biasa. Indonesia memiliki 25% dari spesies tumbuhan berbunga di dunia, atau urutan ketujuh di dunia dengan 20.000 spesies. 40% dari spesies ini adalah tumbuhan asli atau endemik Indonesia (Kusmana dan Hikmat, 2015). Salah satu faktor yang memengaruhi keanekaragaman hayati ini adalah letak geografisnya yang strategis. Tahun 2017, Indonesia memiliki 31.750 jenis tumbuhan (Retnowati *et al.*, 2019) dan jumlah tersebut 1,75% dari seluruh jenis, dibanding dengan luas permukaan daratan Indonesia yang sebesar 1,30% (Setiawan, 2022).

2.4. Biomassa

Biomassa merujuk pada total bahan organik hidup yang diukur dalam satuan ton berat kering per satuan luas. Dalam pengelolaan hutan, biomassa dapat dijadikan dasar perhitungan karena hutan dapat dianggap sebagai sumber dan penyerap karbon. Faktor-faktor seperti curah hujan, umur pohon, komposisi dan struktur, serta perkembangan vegetasi hutan dapat memengaruhi potensi biomassa

suatu hutan. Menghitung biomassa pohon, digunakan persamaan alometrik yang disesuaikan dengan zona iklimnya (Kardika *et al.*, 2021). Biomassa terdiri dari tumbuhan hidup seperti bagian atas pohon, tumbuhan rendah, dan rumput serta tanaman musiman. Biomassa dihasilkan melalui proses fotosintesis yang menyerap karbon dioksida dari udara dan disimpan dalam jaringan organ tanaman seperti batang, dahan, ranting, akar, dan daun. Jumlah biomassa tegakan dapat digunakan untuk menentukan jumlah karbon dioksida yang diserap dan disimpan oleh tegakan atau cadangan karbon. Besarnya biomassa dipengaruhi oleh pertumbuhan vegetasi, yang juga dipengaruhi oleh kemiringan lahan. Kemiringan lahan diukur dalam persen dan didefinisikan sebagai sudut yang dibentuk oleh perbedaan ketinggian permukaan lahan (relief) antara bidang datar tanah dengan bidang horizontal (Drupadi *et al.*, 2021).

Kuantitas biomassa hutan dan simpanan karbon juga amat sangat tergantung pada proses fisiologis tanaman, yakni fotosintesis. Intensitas fotosintesis pohon berhubungan erat dengan kandungan klorofil, jumlah stomata per satuan luas daun, dan usia pohon. Semakin besar luas daun per satuan lahan, semakin bertambah pula jumlah CO₂ yang terserap oleh pohon dan membuat luas daun akan semakin bertambah (Uthbah *et al.*, 2017). Mengurangi dampak dari pemanasan global, mitigasi perlu dilakukan dengan menstabilkan konsentrasi CO₂ di atmosfer. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan menanam jenis tanaman berkayu pada areal-areal hutan dan lahan yang terdegradasi. Penting untuk melakukan kegiatan yang dapat mengukur pertumbuhan tegakan dan simpanan karbon dalam hutan maupun lahan yang terdegradasi, sehingga informasi tersebut dapat menjadi pertimbangan dalam kebijakan pengelolaan hutan. Salah satu metode pengukuran yang dapat dilakukan, yaitu dengan mengukur karbon yang tersimpan pada tanaman, sehingga dapat diketahui kemampuan tanaman dalam menyerap dan menyimpan CO₂ ke dalam organ pohon seperti daun, cabang, batang, dan akar. Selama proses fotosintesis, hutan mampu menyerap gas CO₂ dari atmosfer dan menyimpannya dalam bentuk biomassa tanaman (Hardjana, 2010).

Menurut Rahmah *et al.* (2015), sekitar 40% dari bahan organik pohon terdiri dari karbon, di mana pohon mengambil karbon dioksida dari atmosfer melalui fotosintesis dan mengubahnya menjadi bahan organik (karbohidrat) yang disimpan

dalam tubuhnya seperti batang, daun, akar, umbi, buah, dan sebagainya. Oleh karena itu, salah satu metode untuk mengukur cadangan karbon adalah dengan menghitung biomassa tumbuhan. Cadangan karbon mencerminkan seberapa besar pohon menyimpan karbon. Sedangkan dari keseluruhan karbon hutan, sekitar 50% diantaranya tersimpan dalam vegetasi hutan (Azizah *et al.*, 2019). Jumlah cadangan karbon dalam tumbuhan tergantung pada jumlah biomassa yang terkandung dalam pohon, kesuburan tanah dan kemampuan tumbuhan untuk menyerap karbon (Ati *et al.*, 2014). Menurut Heriyanto dan Subandono (2012), kandungan karbon dalam tanaman mencerminkan kemampuan tanaman untuk menyerap CO₂ dari udara. Tumbuhan menyerap CO₂ dari udara dan mengubahnya menjadi bahan organik melalui fotosintesis untuk pertumbuhan. Kandungan karbon organik yang tinggi dalam tumbuhan disebabkan oleh sumbangan karbon dari daun, ranting, buah, dan bunga yang mati (serasah) (Suryono *et al.*, 2018).

2.5. Karbon Tersimpan

Hutan memegang peran penting sebagai penyerap dan penyimpan karbon dalam siklus global, namun juga dapat menghasilkan emisi karbon. Hutan memiliki kemampuan untuk menyimpan karbon yang jauh lebih besar, dengan kemampuan untuk menyimpan hingga 10 kali lebih banyak karbon, tidak seperti padang rumput, tundra dan, tanaman semusim. Hutan alami adalah habitat yang paling efektif dalam menyimpan karbon, dengan kemampuan untuk menyimpan hingga 7,5-264,70 tonC/ha. Kemampuan hutan untuk menyerap dan menyimpan karbon bervariasi tergantung pada jenis pohon, topografi, dan tipe tanah, baik itu di hutan alam, hutan rakyat, hutan tanaman, hutan rawa, atau hutan payau. Karbon tersimpan dalam hutan yaitu hasil dari akumulasi karbon pada tegakan dan tumbuhan bawah di setiap jenis tutupan lahan (Sugirahayu, 2011).

Hutan di Indonesia memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan, namun kerusakan hutan di Indonesia terus meningkat setiap tahun. Salah satu penyebab kerusakan hutan adalah gangguan fungsi atmosfer yang melindungi bumi dari pendinginan dan pemanasan yang berlebihan. Jika luas hutan tidak semakin berkurang akibat kerusakan hutan dan hutan mampu menjalankan fungsinya sebagai penyimpan karbon, maka optimalisasi penggunaan lahan perlu dilakukan.

Sistem agroforestri merupakan cara yang tepat untuk melakukannya (Aprianto *et al.*, 2016). Jumlah karbon yang tersimpan dalam sistem agroforestri merupakan salah satu upaya penurunan konsentrasi gas rumah kaca (Natalia *et al.*, 2014), terutama dalam penurunan karbondioksida (CO₂) di udara (Aprianto *et al.*, 2016). Dengan mempertimbangkan peran hutan sebagai penyerap karbon, data mengenai jumlah karbon yang tersimpan (cadangan karbon) dalam suatu wilayah hutan di Indonesia (Komul *et al.*, 2016).

Karbon ialah salah satu unsur pokok yang membentuk bahan organik termasuk makhluk hidup (Manuri *et al.*, 2011). Karbon tersimpan pada tumbuhan, diperoleh dari proses fotosintesis (Yuniawati dan Suhartana, 2014). Hampir separuh dari organisme hidup terdiri daripada karbon. Secara karbon terdapat dalam jumlah yang banyak di bumi sama ada di darat atau di laut berbanding jumlah karbon yang terdapat di atmosfer. Besarannya nilai karbon pada makhluk hidup, dapat diketahui melalui biomassa daripada makhluk hidup itu. Hutan yang terdiri daripada jenis tumbuhan, mampu menyerap karbon tersimpan lebih banyak berbanding dengan tanah pertanian. Nilai karbon tersimpan pada tumbuhan, sama ada tumbuhan hutan, tumbuhan pertanian atau ladang, atau pun sisaan dan nekromassa yang menunjukkan jumlah karbon atau gas rumah hijau di udara yang mampu diserap oleh tumbuhan melalui proses fotosintesis (Aprianto *et al.*, 2016).

Menurut Sutaryo (2009), dalam penghitungan inventarisasi karbon di hutan, terdapat setidaknya empat komponen karbon yang harus diperhitungkan. Keempat komponen karbon tersebut adalah biomassa di atas permukaan, biomassa di bawah permukaan, bahan organik mati, dan karbon organik tanah.

- a. Biomassa di atas permukaan mencakup semua material hidup yang terdapat di atas permukaan tanah. Ini mencakup batang, tunggul, cabang, kulit kayu, biji, dan daun dari vegetasi yang terdapat baik di strata pohon maupun di strata tumbuhan bawah di lantai hutan.
- b. Biomassa di bawah permukaan mencakup semua biomassa dari akar tumbuhan yang hidup. Definisi akar ini berlaku hingga ukuran diameter tertentu yang telah ditetapkan. Hal ini dilakukan karena akar tumbuhan yang memiliki diameter lebih kecil dari ketentuan cenderung sulit untuk dibedakan dengan bahan organik tanah dan serasah.

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

2.6. Siklus Karbon

Siklus karbon adalah siklus biogeokimia yang mencakup reaksi kimia, biologi, fisika, dan geologi yang membentuk susunan lingkungan alam seperti litosfer, hidrosfer, pedosfer, atmosfer, dan biosfer. Selain itu, siklus zat dan energi membawa komponen alam dalam ruang dan waktu. Ada dua cara aliran karbon dari atmosfer ke vegetasi dapat terjadi, yaitu CO₂ terikat ke dalam biomasa melalui fotosintesis dan kemudian dilepaskan ke atmosfer melalui proses dekomposisi dan pembakaran. Di ekosistem daratan, karbon disimpan di setiap penggunaan lahan tanaman, serasah, dan tanah (Susanti, 2022). Siklus karbon dapat terjadi di daratan dan perairan, tidak terdapat perbedaan yang signifikan karena tempat yang berbeda.

Siklus karbon dibagi menjadi tiga tahap, yaitu penyerapan, penyimpanan, dan pengeluaran (Lugina *et al.*, 2011). Dalam proses penyerapan, tumbuhan menyerap CO₂ dari atmosfer untuk membentuk daun, batang, dan akar, proses tersebut disebut fotosintesis. Karbon yang diserap akan disimpan pada bagian daun, batang, dan akar selama proses penyimpanan. Beberapa faktor, seperti penebangan pohon, pembukaan lahan, dan pembakaran hutan, berkontribusi pada proses pengeluaran karbon tumbuhan (Sriwiyanti, 2018). Salah satu unsur yang paling banyak ada di bumi adalah karbon. Karbon mudah ditemukan di mana-mana, bahkan di dalam tubuh kita sendiri. Di alam semesta (*universe*), karbon adalah unsur paling banyak keempat setelah hidrogen, helium, dan oksigen, dengan proporsi 18,5% di dalam tubuh manusia (Firdaus dan Wijayanti, 2019). Diperkirakan bahwa karbon dan

unsur esensial lainnya, seperti oksigen (O), nitrogen (N), dan hidrogen (H), membentuk 96% struktur organik di biosfer (Campbell dan Reece, 2005).

2.7. Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan merujuk pada aktivitas manusia yang terkait dengan lahan dan seringkali tidak terlihat secara langsung dalam citra, serta merujuk pada segala tindakan manusia, baik secara permanen maupun sementara, terhadap suatu kelompok sumber daya alam dan buatan yang dikenal sebagai lahan, dengan tujuan memenuhi kebutuhan fisik, spiritual, atau keduanya (Kusumaningrat *et al.*, 2017). Penggunaan lahan telah dipelajari dari berbagai sudut pandang, karena lingkungan fisik yang terdiri dari tanah, relief, iklim, hidrologi, dan vegetasi mempengaruhi potensi penggunaannya. Dalam hal ini, aktivitas manusia seperti reklamasi pantai, penebangan hutan, dan dampak yang dapat merugikan seperti erosi. Klasifikasi penggunaan lahan yaitu upaya untuk mengelompokkan berbagai jenis penggunaan lahan ke dalam satu kesamaan sesuai dengan sistem tertentu. Pemetaan penggunaan sangat terkait dengan vegetasi, pertanian, dan lahan dari biosfer. Penggunaan dan tutupan lahan sangat penting bagi perencanaan yang harus membuat keputusan terkait pengelolaan sumber daya lahan, maka data ini memiliki nilai ekonomi yang tinggi (Lestari dan Arsyad, 2018).

Pemanfaatan informasi spasial yang berubah-ubah seiring waktu dapat memberikan manfaat yang signifikan dalam menganalisis perubahan penggunaan lahan. Setiap kegiatan manusia melibatkan penggunaan lahan dan karena aktivitas manusia terus meningkat, lahan menjadi semakin langka. Keputusan untuk mengubah pola penggunaan lahan dapat memiliki dampak positif dan negatif, baik dari segi ekonomi maupun lingkungan. Oleh karena itu, pengambilan keputusan tentang penggunaan lahan merupakan kegiatan politik yang sangat dipengaruhi oleh faktor sosial dan ekonomi (Nuraeni, *et al.*, 2017). Perubahan penggunaan lahan yang terjadi, baik secara langsung maupun tidak langsung akan menimbulkan dampak yang beragam pada lingkungan. Deforestasi merupakan contoh nyata dari perubahan tersebut yang dapat menyebabkan degradasi lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan penelitian untuk memahami perubahan penggunaan lahan yang terjadi dengan skenario yang sesuai untuk mendukung optimalisasi rencana

kesatuan pengelolaan hutan. Hal tersebut bertujuan untuk mengurangi laju deforestasi di wilayah KPH (Septiono dan Mussadun, 2016).

Lahan adalah sumber daya alam yang dapat diperbaharui dan sekaligus menjadi tempat untuk memproduksi pangan, hunian, dan lain-lain. Dengan meningkatnya jumlah penduduk dan pembangunan yang terus berlangsung, pola penggunaan tanah di Indonesia mengalami perubahan. Terdapat banyak kasus di mana lahan digunakan di luar kemampuan yang sebenarnya, sehingga muncul berbagai masalah seperti lahan kritis yang mencapai jutaan hektar, hilangnya kesuburan tanah, dan kerusakan lingkungan akibat pencemaran tanah (Asra *et al.*, 2020). Salah satu implikasi merugikan dari dampak perubahan penggunaan lahan dapat terjadi pada ekosistem lokal dan lingkungan yang akan memengaruhi stok karbon di daratan (Adrian dan Nugratma, 2020). Untuk menganalisis perubahan tutupan lahan, data berupa peta dapat diperoleh melalui teknik penginderaan jauh yang telah lama menjadi alat yang penting dan efektif dalam pemantauan tutupan lahan dengan kemampuannya memberikan informasi tentang variasi spasial di permukaan bumi dengan cepat, luas, akurat, dan mudah (Fatahillah *et al.*, 2022).

2.8. Tutupan Lahan

Tutupan lahan merupakan perwujudan fisik permukaan bumi. Tutupan lahan dapat mencerminkan hubungan antara proses alam dan proses sosial, dan dapat menyediakan informasi yang sangat penting untuk keperluan pemodelan serta untuk memahami fenomena alam yang terjadi di permukaan bumi (Cahyono *et al.*, 2019). Data tutupan lahan juga digunakan dalam mempelajari perubahan iklim dan memahami keterkaitan antara aktivitas manusia dan perubahan global (Sampurno, 2016). Informasi tutupan lahan yang akurat merupakan salah satu faktor penentu dalam meningkatkan kinerja dari model-model ekosistem, hidrologi, dan atmosfer (Jia *et al.* 2014). Pemahaman terhadap penyebab utama perubahan lanskap dapat menghasilkan pengelolaan yang efektif, sehingga terkonsentrasi pada definisi dan klasifikasi penyebabnya. Perubahan tutupan dan penggunaan lahan dihasilkan dari kombinasi berbagai penyebab dalam kondisi tertentu, sehingga dapat dibagi menjadi penyebab dasar dan langsung (Juniyantia *et al.*, 2020). Informasi mengenai tutupan lahan yang berbentuk peta dapat diakses melalui teknik penginderaan jauh

yang digunakan sebagai alat pemantauan, penginderaan jauh telah terbukti efektif dan penting dalam memberikan informasi yang luas dan akurat mengenai variasi spasial di permukaan bumi dengan cara yang cepat dan mudah diperbarui (Sampurno, 2016).

Perkembangan kebutuhan manusia terhadap ruang selalu berubah seiring waktu. Perubahan penggunaan lahan terjadi karena kebutuhan akan lahan non-pertanian yang terus meningkat, terutama di daerah perkotaan yang sedang berkembang. Hal ini menyebabkan penggunaan lahan yang tidak terkontrol. Selain itu, perubahan fungsi pemanfaatan ruang terjadi ketika fungsi baru diperkenalkan ke dalam suatu fungsi yang serupa. Sebagai contoh, lahan pertanian atau permukiman dapat diubah menjadi area komersial oleh masyarakat atau pengembang (Umar, 2016). Klasifikasi tutupan lahan merupakan upaya untuk mengklasifikasikan berbagai jenis tutupan lahan menjadi suatu kesamaan menurut sistem tertentu (Al Mukmin *et al.*, 2016). Lahan bervegetasi akan berubah menjadi lahan terbangun berupa pemukiman, perkantoran, gedung, kawasan industri dan pusat perbelanjaan (Sutriani, 2020).

Menurut Situmorang *et al.* (2016), penggunaan data tutupan lahan dapat membantu dalam menghitung cadangan karbon di hutan. Ismed *et al.* (2013) mengungkapkan bahwa jumlah karbon dalam tipe vegetasi tertentu dipengaruhi oleh banyaknya pohon dengan diameter batang yang besar, sehingga penebangan dapat mengurangi cadangan karbon dalam tipe vegetasi tersebut. Vegetasi memainkan peran penting dalam menyerap CO₂ untuk mengatasi pemanasan global. Karbon yang diserap oleh tumbuhan disimpan dalam bentuk biomassa kayu, sehingga cara yang paling mudah untuk meningkatkan cadangan karbon adalah dengan menanam dan merawat pohon serta menjaga lahan tetap bervegetasi (Azham, 2015).

2.9. Vegetasi

Vegetasi merupakan kumpulan dari beberapa tumbuhan yang tumbuh bersama-sama pada suatu tempat tertentu. Sebagai suatu sistem yang hidup dan berkembang, mekanisme kehidupan bersama tersebut berinteraksi secara erat dengan sesama organisme penyusun vegetasi dan organisme lainnya. Bentuk

pertumbuhan, stratifikasi, dan penutupan tajuk adalah komponen struktur vegetasi. Analisis vegetasi dapat memberikan informasi kuantitatif tentang struktur dan komposisi komunitas tumbuhan; untuk analisis vegetasi, data jenis, diameter, dan tinggi diperlukan (Sari *et al.*, 2018). Mempelajari susunan (komposisi jenis) dan bentuk (struktur) vegetasi atau masyarakat tumbuh-tumbuhan disebut analisis vegetasi. Jumlah petak contoh, metode penempatan petak contoh, dan metode analisis vegetasi yang digunakan adalah tiga hal yang perlu diperhatikan saat melakukan sampling dalam kondisi hutan yang luas. Menurut prinsip, ukuran petak harus cukup besar untuk mewakili populasi yang ada dalam contoh, tetapi harus cukup kecil untuk mengidentifikasi, menghitung, dan mengukur individu tanpa duplikasi atau pengabaian (Farhan *et al.*, 2019).

Banyak proses yang terjadi di ekosistem dipengaruhi oleh vegetasi, seperti yang diungkapkan oleh Smith *et al.*, (2000), yaitu penyimpanan dan daur nutrisi; penyimpanan karbon, purifikasi air, keseimbangan dan penyebaran unsur-unsur penting yang membentuk ekosistem, seperti predator, detritivor, polinator, dan parasit. Menurut Stirling dan Wilsey (2001), stabilitas, produktivitas, struktur trofik, dan perpindahan komponen ekosistem sangat dipengaruhi oleh perubahan vegetasi. Oleh karena itu, perubahan struktur dan komposisi vegetasi harus dipantau secara berkala untuk mengetahui kondisi ekosistem secara keseluruhan. Analisis vegetasi adalah salah satu cara untuk memantau perubahan struktur dan komposisi vegetasi (Mardi *et al.*, 2015).

Struktur vegetasi terdiri dari individu-individu yang membentuk tegakan dalam ruang. Struktur vegetasi dapat dilihat dari dua arah, yaitu horizontal dan vertikal. Struktur tegakan horizontal menunjukkan penyebaran spesies di habitatnya, sedangkan untuk vertikal menunjukkan jumlah pohon tersebar di berbagai lapisan tajuk (Naharuddin, 2017). Struktur vegetasi dapat dibagi menjadi lima stratum yang berbeda, yang disebut sebagai stratum A, B, C, D, dan E. Menurut Indriyanto (2006), tidak semua jenis ekosistem hutan memiliki lima stratum, jadi tentu ada hutan yang memiliki stratum A, B, D, dan E, atau C, D, dan E, dll. Menurut Kadir (2015), vegetasi hutan dengan struktur dan komposisi serta penyebarannya yang luas akan memainkan peran penting dalam pengendalian daur air. Ini karena stratifikasi vegetasi sangat penting kaitannya dengan aspek hidrologi

dan erosi tanah, dan variasi stratifikasi berkaitan dengan kemampuan untuk mengintersepsikan air.

2.10. Persamaan Alometrik

Persamaan alometrik yang digunakan dalam model alometrik yang dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu model alometrik utama, yang terdiri dari persamaan alometrik bentuk regresi linear dan logaritmik linear sederhana dan model alometrik tambahan yang terdiri dari persamaan alometrik bentuk (Lestari *et al.*, 2016). Persamaan alometrik, yang sering digunakan untuk menghitung biomassa dan karbon pada pohon atau tegakan hutan, yaitu persamaan matematika yang menunjukkan hubungan antara bagian tertentu dari makhluk hidup dengan bagian atau fungsi lainnya. Dengan menggunakan parameter lain yang dapat diukur, persamaan ini digunakan untuk menduga parameter tertentu (Sutaryo, 2009). Dalam rancangan metode penelitian, alometrik digunakan untuk membuat pengukuran pertumbuhan tanaman. Metode ini dituangkan dalam bentuk hubungan-hubungan eksponensial atau logaritma antara organ tanaman yang berkembang secara harmonis dan mengalami perubahan proporsional (Parresol, 1999; Hardjana, 2011).

Menurut Krisnawati *et al.*, (2012) mendefinisikan model alometrik sebagai dua jenis: model alometrik volume dan model alometrik biomassa. Kedua model ini digunakan untuk menggambarkan perubahan sistematis dan mencakup hubungan antara ukuran atau pertumbuhan satu bagian dengan keseluruhan komponen makhluk hidup (Parresol 1999). Persamaan alometrik dinyatakan dengan model pendugaan biomassa yang terdiri dari sembilan model dalam bentuk *linear* dan *non linear* (Adinugroho dan Sidiyasa, 2006) sebagai berikut.

1. Model satu perubah bebas
 - a. $B = aD^b$ (Brown, 1997; Ola-Adam, 1993)
 - b. $B = a + bD + cD^2$ (Brown *et al.*, 1989)
 - c. $B = e^{(a+b \ln D)}$ (Brown *et al.*, 1989)
2. Model dua perubah bebas
 - a. $B = aD^b H_{\text{tot}}$ (Ogawa *et al.*, 1965)
 - b. $B = aD^b H_{bc}$ (Ogawa *et al.*, 1965)

- c. $B = a + bD^2H_{tot}$ (Brown *et al.*, 1989)
- d. $B = a + bD^2H_{bc}$ (Brown *et al.*, 1989)
- e. $B = e^{(a+b \ln(D^2H_{tot}))}$ (Brown *et al.*, 1989)
- f. $B = e^{(a+b \ln(D^2H_{bc}))}$ (Brown *et al.*, 1989)

dimana B (biomassa), D (diameter), H_{tot} (tinggi total), H_{bc} (tinggi bebas cabang), dan untuk a, b, dan c (konstanta).

Persamaan alometrik dengan menghitung diameter pangkal, diameter ujung, berat kering, dan kandungan karbon digunakan sebagai data untuk membuat model alometrik penduga biomassa dan kandungan karbon. Model alometrik yang digunakan terdiri dari model regresi linier, logaritmik, eksponensial, polinomial, dan dpower (Mulyana *et al.*, 2020; Mulyana *et al.*, 2021).

Linear: $Y = \beta_0 + \beta_1 X$

Logaritmik: $Y = \beta_0 + \beta_1 \ln(X)$

Eksponensial: $Y = \beta_0 e^{\beta_1 X}$

Polinomial: $Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2$

Power: $Y = \beta_0 X^{\beta_1}$

dimana Y adalah variabel tak bebas (berat kering (gr), kandungan karbon (gr)), X adalah variabel bebas (diameter pangkal dan diameter ujung (cm)), β_0 adalah konstanta, sedangkan β_1 dan β_2 adalah kemiringan.

Menurut Sutaryo (2009), persamaan alometrik dinyatakan dengan persamaan yang umum digunakan, yaitu sebagai berikut.

$$Y = a + bX$$

Dimana, Y untuk mewakili ukuran yang diprediksi, X adalah bagian yang diukur, b adalah kemiringan/kofisien regresi, dan a adalah nilai yang berpotongan dengan sumbu vertikal (Y).

Untuk mencari nilai dari a dan b pada persamaan linear di atas menggunakan kuadrat kecil, dan rumus yang digunakan sebagai berikut.

$$b = \frac{n(\sum_{i=1}^n X_i Y_i) - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{n(\sum_{i=1}^n X_i^2) - (\sum_{i=1}^n X_i)^2}$$

$$a = \frac{(\sum_{i=1}^n Y_i) - b(\sum_{i=1}^n X_i)}{n}$$

Tidak semua persamaan alometrik linear. Persamaan lain yang sering digunakan yaitu persamaan pangkat, sebagai berikut.

$$Y = a X^b$$

Namun, bentuk dasar tersebut ditransformasikan dalam bentuk logaritma yang menjadi sebagai berikut.

$$\text{Log}(Y) = \log(a) + b[\log(X)]$$

Selain kedua bentuk persamaan di atas, persamaan alometrik dapat disusun dengan model persamaan polinomial dan model persamaan logistik, sebagai berikut.

- Persamaan polinomial

$$f(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_2 x^2 + a_1 x + a_0$$

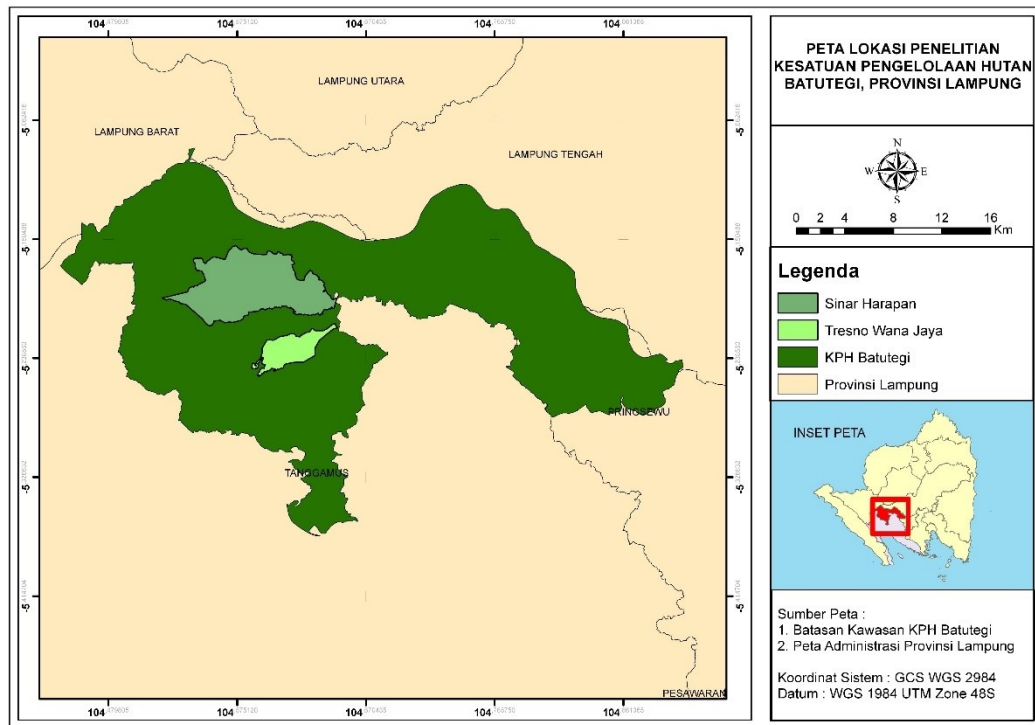
- Persamaan model logistik

$$f(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di areal Gapoktan Sinar Harapan dan Gapoktan Tresno Wana Jaya, Dusun Sekampung Kuning dan Dusun Citra Laksana, Desa Datar Lebuay, Kecamatan Air Naningan, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung. Lokasi penelitian merupakan area kelola masyarakat yang berada di KPH Batutegi yang secara geografis terletak pada 104°27' - 104°54' BT dan 5°5' - 5°22' LS. Waktu pengambilan data dilakukan pada bulan September 2023.



Gambar 2. Peta lokasi penelitian di kawasan KPH Batutegi

3.2. Alat dan Objek Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian antara lain alat tulis, tali rafia, patok, *phi band*, pita meter, roll meter, hagameter, kamera dan laptop yang dapat digunakan untuk menjalankan aplikasi *microsoft office word* dan *excel*, sedangkan bahan yang digunakan berupa *tally sheet*. Objek pada penelitian ini yaitu tutupan lahan pada hutan, agroforestri, dan monokultur di KPH Batutegi.

3.3. Jenis Pengumpulan Data

3.3.1. Data Primer

Pengumpulan data yang dilakukan yaitu dengan melakukan turun lapang secara langsung dengan melakukan pengukuran dan pengambilan sampel yang menggunakan teknik *purposive sampling*. Menurut Sugiyono (2016:85) teknik *purposive sampling* merupakan teknik pengambilan atau penentuan sampel dengan pertimbangan kriteria-kriteria tertentu. Pengambilan data primer dilakukan dengan membuat plot sampel pada setiap jenis tutupan lahan yang akan diteliti. Data dapat berupa jenis pohon, tinggi, dan diameter tanaman pada setiap fase pertumbuhan yang ada di setiap tutupan lahan seperti pohon, tiang, pancang, dan semai, serta peta lokasi penelitian. Pada plot pengambilan data berbentuk persegi panjang dan persegi dengan ukuran plot sebagai berikut:

1. Pohon (DBH >20 cm) pada plot ukuran 20 m x 50 m
2. Tiang (DBH 10-20 cm) pada plot ukuran 10 m x 10 m
3. Pancang (DBH 1,5-10 cm) pada plot ukuran 5 m x 5 m
4. Semai (DBH < 1,5 cm) pada plot ukuran 2 m x 2 m

3.3.2. Data Sekunder

Data sekunder yang digunakan berupa tutupan lahan KPH Batutegi. 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. Oleh karena itu, perlu dilakukan studi literatur yang bisa berasal dari jurnal, buku, dan data publikasi mengenai estimasi cadangan karbon, serta data pendukung lainnya. Data sekunder dapat dikumpulkan dengan mencari referensi melalui internet ataupun perpustakaan.

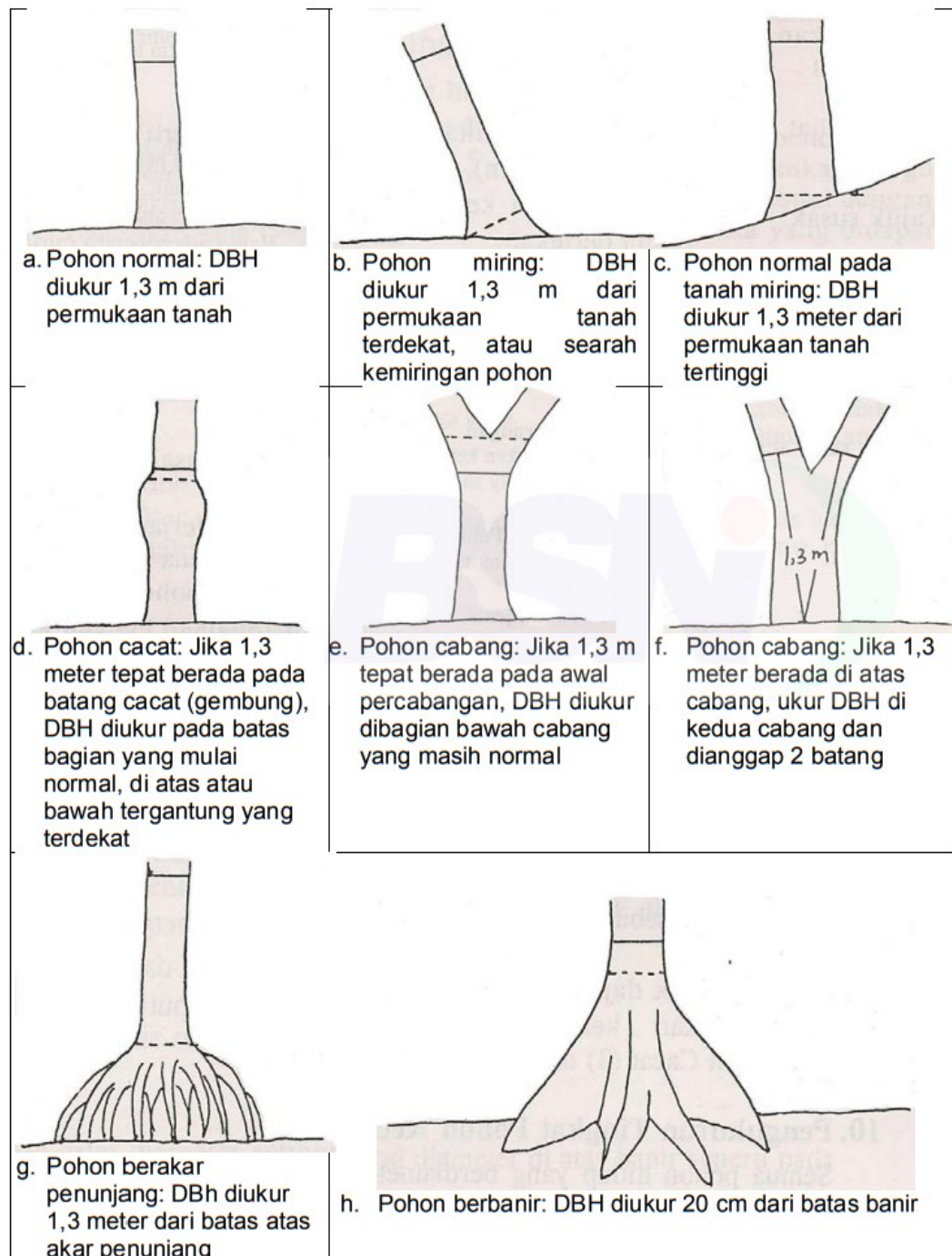
3.4. Pengambilan Data

3.4.1. Desain Sampling

Pengambilan data yang dilakukan secara sampling bertujuan untuk menarik suatu kesimpulan mengenai suatu hal yang sedang diteliti dengan melakukan analisis data sampel. Pemilihan sampel yang baik dan benar akan mencerminkan seluruh karakteristik populasi. Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan metode *purposive sampling*. Pada metode *purposive sampling* penentuan titik sampel dilakukan dengan melakukan pertimbangan pada setiap tutupan lahan yang akan dilakukan penelitian. Data cadangan karbon dari tutupan lahan dilakukan pada beberapa tipe tutupan lahan seperti hutan, monokultur, dan agroforestri. Untuk menghitung total cadangan karbon dari tutupan lahan didasarkan pada kandungan biomassa dari semai, pancang, tiang, pohon, nekromassa (pohon mati dan kayu mati) dan bawah permukaan seperti akar.

3.4.2. Metode Sampling

Penentuan metode *purposive sampling* menggunakan plot persegi panjang dan persegi sebagai plot sampel untuk memberikan informasi data yang berbeda-beda pada tiap tutupan lahan. Jumlah petak ukur yang dibuat sebanyak 36 plot dengan menggunakan rumus *Cochran*. Penelitian ini menggunakan plot dengan bentuk persegi panjang digunakan untuk fase pohon (20 m x 50 m), plot bentuk persegi digunakan untuk fase tiang (10 m x 10 m), fase pancang (5 m x 5 m), dan fase semai (2 m x 2 m). Bentuk plot untuk pengambilan sampel pada masing-masing tipe tutupan lahan dapat dilihat pada Gambar 4. Penentuan plot pengambilan sampel dilakukan dengan pertimbangan untuk mencakup semua bagian dari lahan hutan, agroforestri, dan monokultur yang akan dikaji (Dewanti *et al.*, 2016). Jumlah titik penelitian yang ditetapkan berjumlah 36 dengan penentuan posisi titik menggunakan GPS (*Global Positioning System*). Data yang diperoleh meliputi pengukuran *Diameter Breast Height* (DBH), tinggi pohon, dan jenis pohon yang akan diukur. Pengukuran diameter pohon setinggi dada dilakukan dengan beberapa cara sesuai dengan kondisi tumbuh pohon di lokasi penelitian. Pengukuran DBH dilakukan dengan 8 cara sesuai dengan kondisi masing-masing pohon yang ditemukan. Prosedur pengukuran pohon dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Prosedur pengukuran *Diameter Breast Height* (DBH)

Intensitas sampling adalah nilai relatif yang mengacu pada proporsi area yang diambil sebagai sampel. Intensitas sampling tidak mempengaruhi ketelitian perkiraan yang dibuat secara langsung dan tidak membantu dalam merencanakan inventarisasi (Fehrmann *et al.*, 2017). Intensitas sampling yang digunakan sebesar 16,5% dengan luas lokasi yang diteliti yaitu 6.615,2 ha. Pada penelitian ini, peneliti

menggunakan rumus *Cochran* untuk menentukan jumlah sampel. Rumus *Cochran* yaitu sebagai berikut.

$$n = \frac{\frac{t^2 x p x q}{d^2}}{1 + \frac{1}{N} \left(\left(\frac{t^2 x p x q}{d^2} \right) - 1 \right)}$$

Keterangan:

n = Jumlah sampel yang diperlukan

N = Jumlah populasi (luas hutan (ha) dibagi luas plot sampel (ha))

t = tingkat kepercayaan (digunakan 0,95 sehingga nilai t = 1,96)

d = taraf kekeliruan (*Margin of error*, digunakan 16,5% (0,165))

p = proporsi dari karakteristik tertentu (golongan) sebesar 50% (0,5)

q = 1 – p

1 = Bilangan konstan

Perhitungan intensitas sampling menggunakan rumus *Cochran*, yaitu:

$$n = \frac{\frac{t^2 x p x q}{d^2}}{1 + \frac{1}{N} \left(\left(\frac{t^2 x p x q}{d^2} \right) - 1 \right)}$$

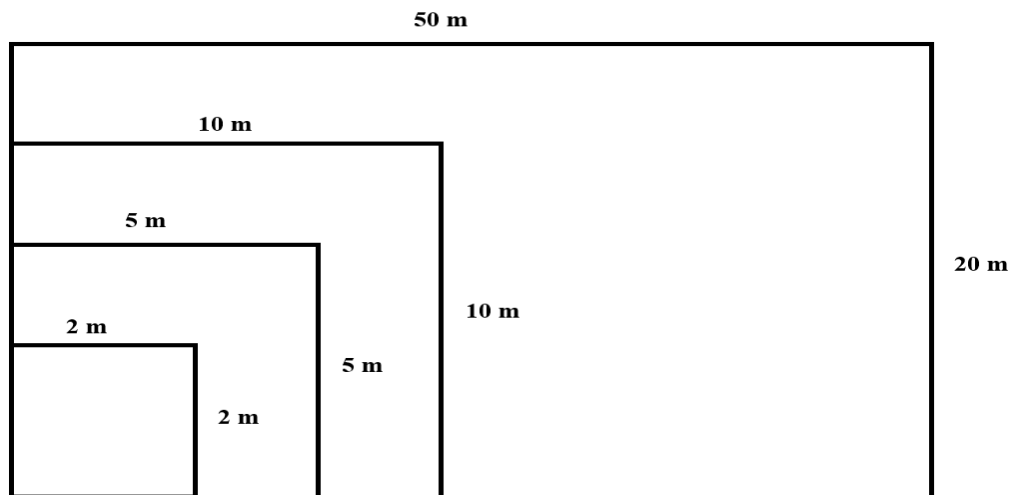
$$n = \frac{\frac{1,96^2 x 0,5 x 0,5}{0,165^2}}{1 + \frac{1}{66.152} \left(\left(\frac{1,96^2 x 0,5 x 0,5}{0,165^2} \right) - 1 \right)}$$

$$n = \frac{35,2764}{1 + 0,00001511 x 34,2764}$$

$$n = \frac{35,2764}{1,0005179}$$

$$n = 35,2581$$

Berdasarkan perhitungan sampel tersebut, maka didapatkan jumlah plot sampel yang dibutuhkan sebanyak 35,2581, dan dibulatkan menjadi 36 plot sampel dari luasan areal penelitian 6.615,2 ha dengan *intensitas sampling* sebesar 16,5%. Hal tersebut dapat mengestimasi cadangan karbon yang terkandung di luas lahan 6.615,2 ha dengan taraf kekeliruan sebesar 16,5%.



Gambar 4. Plot pengambilan sampel

Keterangan: 2 m x 2 m untuk fase semai, 5 m x 5 m untuk pancang, 10 m x 10 m untuk tiang, dan 20 m x 50 m untuk pohon.

3.5. Analisis Data

3.5.1. Perhitungan Analisis Vegetasi

Analisis yang dilakukan berdasarkan besarnya INP yaitu dari penjumlahan nilai kerapatan relatif, frekuensi relatif, dan dominansi relatif yang dapat dihitung dengan persamaan yang dikemukakan oleh Indriyanto (2006), yaitu sebagai berikut.

1. Kerapatan (K)

Kerapatan yaitu jumlah individu per unit yang di temukan di dalam luas petak contoh. Kerapatan untuk masing-masing jenis tumbuhan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$K = \frac{\text{Jumlah individu suatu jenis}}{\text{Luas seluruh petak contoh}}$$

$$KR = \frac{\text{Kerapatan suatu jenis}}{\text{Kerapatan seluruh jenis}} \times 100\%$$

2. Frekuensi (F)

Frekuensi yaitu jumlah persebaran dari suatu jenis yang dalam pengamatan berada pada suatu ekosistem. Perhitungan penyebaran setiap populasi tumbuhan menggunakan rumus perhitungan frekuensi sebagai berikut.

$$F = \frac{\text{Jumlah petak ditemukannya suatu jenis}}{\text{Jumlah seluruh petak contoh}}$$

$$FR = \frac{\text{Frekuensi suatu jenis}}{\text{Frekuensi seluruh jenis}} \times 100\%$$

3. Dominansi (D)

Dominansi yaitu suatu jenis yang berada pada suatu vegetasi terhadap jenis yang lain. Perhitungan jenis tanaman yang mendominasi pada populasi tumbuhan menggunakan rumus perhitungan dominansi sebagai berikut.

$$D = \frac{\text{Jumlah luas bidang dasar suatu jenis}}{\text{Luas seluruh petak contoh}}$$

$$DR = \frac{\text{Dominansi suatu jenis}}{\text{Dominansi seluruh jenis}} \times 100\%$$

4. Indeks Nilai Penting (INP)

INP yaitu parameter yang dapat dipakai untuk menyatakan tingkat dominansi spesies pada suatu komunitas tumbuhan. Berdasarkan persamaan kerapatan, frekuensi, dan dominansi tersebut, maka untuk menghitung besar INP suatu spesies pada fase pohon, tiang, dan pancang sebagai berikut.

$$INP = KR + FR + DR$$

Pada fase semai menggunakan perhitungan sebagai berikut.

$$INP = KR + FR$$

Keterangan:

INP = Indeks Nilai Penting

KR = Kerapatan Relatif

FR = Frekuensi Relatif

DR = Dominansi Relatif

3.5.2. Perhitungan Keanekaragaman Tumbuhan

3.5.2.1. Indeks Keanekaragaman Jenis (Shannon-Wiener)

Indeks keanekaragaman jenis menggambarkan bagaimana keadaan populasi secara matematis untuk mempermudah saat menganalisis mengenai jumlah individu masing-masing jenis pada suatu komunitas (Budi *et al.*, 2023). Perhitungan indeks keanekaragaman jenis dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$$

$$P_i = \frac{N_i}{N}$$

Keterangan:

H' = Indeks keanekaragaman jenis Shannon Wiener

N_i = Jumlah individu jenis ke-i

N = Jumlah individu seluruh jenis

P_i = Proporsi individu jenis ke-i

Kategori indeks keanekaragaman jenis dibagi menjadi 3 kategori, yaitu:

H' < 1 = Keanekaragaman rendah

1 < H' < 3 = Keanekaragaman sedang

H' > 3 = Keanekaragaman tinggi

3.5.2.2. Indeks Kemerataan Jenis

Indeks kemerataan jenis menunjukkan derajat kelimpahan suatu individu di setiap spesies yang ditemui. Indeks kemerataan jenis dihitung untuk mengetahui derajat kemerataan jenis pada lokasi penelitian. Besarnya indeks kemerataan menurut Daget (1976) dengan rumus sebagai berikut.

$$E = \frac{H'}{\ln S}$$

Keterangan:

E = Indeks kemerataan jenis

H' = Indeks keanekaragaman Shannon Wiener

S = Jumlah jenis yang ditemukan

Kategori indeks kemerataan jenis dibagi menjadi 3 kategori, yaitu:

0 < E < 0,40 = Persebaran tidak merata

0,40 < E < 0,60 = Persebaran cukup merata

0,60 < E < 1 = Persebaran merata

3.5.2.3 Indeks Kekayaan Jenis (Margalef)

Indeks kekayaan jenis adalah jumlah total jenis dalam satu komunitas. Indeks kekayaan jenis berfungsi untuk mengetahui kekayaan setiap jenis dalam satu komunitas yang dijumpai. Apabila semakin tinggi tingkatannya, maka semakin

banyak spesies penyusunnya. Indeks kekayaan jenis dihitung menggunakan rumus yang ditemukan oleh Margalef (1958); Saputri *et al.*, 2022. sebagai berikut.

$$R = \frac{(S - 1)}{\ln N}$$

Keterangan:

R = Indeks kekayaan jenis (*Margalef*)

S = Jumlah jenis

N = Jumlah total jenis

Ln = Logaritma a

Kategori indeks kekayaan jenis dibagi menjadi 3 kategori, yaitu:

$R < 3,5$ = Kekayaan jenis rendah

$3,5 < R < 5$ = Kekayaan jenis sedang

$R > 5$ = Kekayaan jenis tinggi

3.5.3. Biomassa Atas Permukaan

Pengambilan data untuk biomassa pohon dilakukan dengan menggunakan metode *non destruktive* yaitu dengan tidak menebang pohon pada setiap pohon yang berada di dalam plot. Hasil pengukuran akan dianalisis menggunakan rumus persamaan alometrik untuk menghitung biomassa berdasarkan spesies pohon dengan menggunakan rumus perhitungan sebagai berikut.

$$AGB = \alpha D^b$$

Keterangan:

AGB = *Above Ground Biomass* (kg)

D = Diameter pohon setinggi dada (cm)

α, b = Konstanta

Tabel 1. Persamaan alometrik untuk pendugaan biomassa pohon

Jenis Pohon	Persamaan Alometrik	Sumber
Campuran	$B = 0,277 (D^2 \rho)^{1,238}$	Manuri <i>et al.</i> (2016)
Kopi pangkas	$B = 0,281 D^{2,06}$	Hairiah <i>et al.</i> (2011)
Mahoni	$B = 0,903 (D^2 H)^{0,684}$	BPKH Wil. XI & MFP II (2009)
Sonokeling	$B = 0,746 (D^2 H)^{0,639}$	BPKH Wil. XI & MFP II (2009)
Sengon	$B = 0,3196 (D)^{1,983}$	Siregar (2007)
Kakao	$B = 0,281 (D)^{1,98}$	Yuliasmara <i>et al.</i> (2009)

Keterangan: B = Biomassa (kg/pohon), ρ = Berat jenis kayu (g/cm^3), H = Tinggi pohon (cm), D = Diameter pohon setinggi dada (cm)

3.5.4. Biomassa Bawah Permukaan (Akar)

Biomassa bawah permukaan yaitu total biomassa pada akar tumbuhan yang masih hidup. Pada pengukuran akar berlaku untuk ukuran diameter tertentu yang sudah ditetapkan, hal tersebut dilakukan karena pada akar tumbuhan dengan berdiameter yang kecil sering dikecualikan karena sulit untuk dilakukan perbedaan antara bahan organik tanah dan serasah (Sutaryo, 2009). Perhitungan biomassa bawah permukaan pada akar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang disusun oleh Cairns *et al.*, 1997; Sutaryo, 2009 sebagai berikut.

$$\text{BGB} = \exp(-1,0587 + 0,8836 \times \ln \text{AGB})$$

Keterangan:

BGB = *Below Ground Biomass* (kg)

AGB = *Above Ground Biomass* (kg)

3.5.5. Nekromassa

Perhitungan nekromassa pada pohon mati dengan melakukan pendugaan volume pohon dengan menggunakan persamaan alometrik dikalikan dengan tingkat keutuhan pohon (Gambar 5). Rumus yang digunakan sama seperti perhitungan biomassa atas permukaan, tetapi dikalikan dengan tingkat keutuhan pohon mati. Pada perhitungan potensi nekromassa pohon tumbang atau kayu mati, dihitung dengan menggunakan rumus volume Brereton dikalikan kerapatan kayu. Rumus yang digunakan menurut BSN (2019) adalah sebagai berikut.

$$V_{km} = 0,25\pi \left(\frac{d_p + d_u}{2 \times 100} \right)^2 \times P$$

$$N = V_{km} \times \rho$$

Keterangan:

V_{km} = Volume kayu mati (m^3)

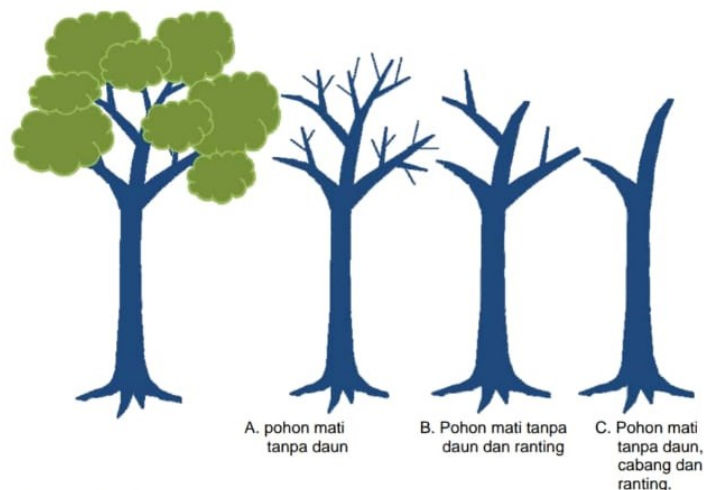
d_p = Diameter pangkal kayu mati (cm)

d_u = Diameter ujung kayu mati (cm)

P = Panjang kayu mati (m)

N = Nekromassa kayu mati (kg)

ρ = berat jenis kayu (kg/cm^3)



Gambar 5. Tingkat keutuhan pohon, tiang, dan pancang

Keterangan: A. tingkat keutuhan pohon mati tanpa daun dengan faktor korelasi 0,9, B. tingkat keutuhan pohon tanpa daun dan ranting dengan faktor korelasi 0,8, C. tingkat keutuhan pohon tanpa daun, ranting, dan cabang dengan faktor korelasi 0,7.

3.5.6. Perhitungan Estimasi Karbon

Potensi karbon dapat diperkirakan dengan mengkonversi 0,47 dari biomassa atas permukaan, biomassa bawah permukaan (akar), dan nekromassa (BSN, 2019). Rumus yang digunakan dalam memperkirakan potensi karbon adalah sebagai berikut:

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

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

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

Keterangan:

C = Karbon (kg)

AGB, BGB = Biomassa (kg)

N = Nekromassa (kg)

3.5.7. Perhitungan Cadangan Karbon Per Hektar pada Tiap Plot

Semua nilai karbon yang diperoleh dalam satu petak dijumlahkan untuk mendapatkan nilai karbon rata-rata per petak dan kemudian diakumulasikan dalam luasan per hektar. Rumus yang digunakan (BSN, 2019) adalah:

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

Keterangan:

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 *pool* (m²)

3.5.8. Perhitungan Cadangan Karbon Total dalam Plot

Total cadangan karbon pada plot dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$C_{\text{plot}} = (C_{\text{AGB}} + C_{\text{BGB}} + C_N)$$

Keterangan:

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

C_{AGB} = Total kandungan karbon biomassa atas permukaan per hektar pada plot (ton/ha)

C_{BGB} = Total kandungan karbon biomassa bawah permukaan per hektar pada plot (ton/ha)

C_N = Total kandungan karbon nekromassa per hektar pada plot (ton/ha)

3.5.8. Analisis Statistik Ketidakpastian dari Faktor Cadangan Karbon

Analisis ketidakpastian diperlukan untuk mengukur ketidakpastian estimasi cadangan karbon (Budiharto *et al.*, 2022). Perhitungan analisis statistik ketidakpastian dari faktor cadangan karbon dapat dihitung dengan rumus yang disajikan dalam bentuk Tabel sebagai berikut.

Tabel 2. Analisis statistik nilai ketidakpastian dari faktor cadangan karbon

Tipe tanaman	Analisis Statistik							
	Mean (Mj)	Standard Deviation (SD)	Sample Count (n)	t-stat at 95% (t)	Confidence Interval (CI)	Lower Bound	Upper Bound	Uncertainty (%)
Tipe tanaman ke-j	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_i$	$\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (M_i - M_j)^2}$			$\frac{SD \times t}{\sqrt{n}}$	$M_j - CI$	$M_j + CI$	$\frac{CI}{M_j} \times 100\%$

M_i adalah jumlah stok karbon (dalam MgC/ha/tahun) dari plot-i di tipe tanaman ke-j, n adalah jumlah plot di tiap tanaman ke-j

Sumber: KLHK Direktorat Konservasi Tanah dan Air Forest Programme II

V. KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian tentang estimasi cadangan karbon pada beberapa tipe tutupan lahan di KPH Batutege yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Indeks Nilai Penting (INP) di lokasi penelitian pada setiap fase pertumbuhan diperoleh INP tertinggi di lahan hutan pada fase pohon dan tiang yaitu jenis medang (*Phoebe hunanensis*) dengan INP masing-masing sebesar 44,41% dan 38,62%, fase pancang jenis belimbing hutan (*Baccaurea angulata*) sebesar 54,91%, fase semai jenis waru (*Hibiscus tiliaceus*) sebesar 46,89%. Lahan agroforestri jenis tumbuhan dengan nilai tertinggi pada fase pohon dan tiang yaitu jenis sonokeling (*Dalbergia latifolia*) dengan INP sebesar 75,73% dan 66,41%, fase pancang dan semai pada jenis kopi (*Coffea canephora*) 191,77% dan 112,86%. Lahan monokultur fase pohon yaitu jenis karet (*Hevea brasiliensis*) dengan INP sebesar 38,07%, fase tiang dengan INP tertinggi pada jenis alpukat (*Persea americana*) sebesar 82,14%, fase pancang dan semai jenis kopi (*Coffea canephora*) sebesar 218,99% dan 150,88%.
2. Indeks keanekaragaman tumbuhan pada lahan hutan, agroforestri, dan monokultur yaitu pada indeks keanekaragaman jenis (H') pada lahan hutan sebesar 3,08, agroforestri sebesar 2,10, dan monokultur sebesar 2,04. Indeks pemerataan jenis (E) di lahan hutan sebesar 0,87, agroforestri sebesar 0,71 dan monokultur sebesar 0,75, ketiga lahan tersebut memiliki persebaran yang merata. Indeks kekayaan jenis (R) pada lahan hutan sebesar 6,25 memiliki kekayaan yang tinggi, sedangkan di lahan agroforestri dan monokultur kekayaan jenisnya rendah masing-masing sebesar 3,12 dan 2,69.

3. Rata-rata cadangan karbon yang berada di Gapoktan Sinar Harapan dan Gapoktan Tresno Wana Jaya di lahan hutan sebesar 143,91 tonC/ha, agroforestri sebesar 78,79 tonC/ha, dan monokultur sebesar 47,92 tonC/ha. Dari ketiga lahan nilai tertinggi terdapat pada fase pohon hidup sebesar 99,38 tonC/ha untuk hutan, 42,78 tonC/ha untuk agroforestri, dan monokultur sebesar 20,25 tonC/ha.

5.2. Saran

Saran yang ditunjukkan untuk petani HKm yang terlibat pada pengelolaan hutan sebagai upaya untuk mendukung kelestarian hutan lindung di KPH Batutegi dengan diawasi oleh pihak KPH Batutegi, perlu dilakukan peningkatan keanekaragaman jenis tumbuhan di lahan agroforestri, agar keanekaragaman jenis tumbuhan meningkat dan cadangan karbon yang dihasilkan akan lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Adinugroho, W.C. 2010. Pendugaan cadangan karbon dalam rangka pemanfaatan fungsi hutan sebagai penyerap karbon. *Jurnal Hutan dan Konservasi Alam*. 3(1): 103-117.
- Adinugroho, W.C. dan Sidiyasa, K. 2006. Model pendugaan biomassa pohon mahoni (*Swietenia macrophylla* King) di atas permukaan tanah. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*. 3(1): 103-117.
- Adinugroho, W.C., Indrawan, A., Suptiyanto., dan Arifin, H.D. 2013. Kontribusi sistem agroforestri terhadap cadangan karbon di hulu DAS Kali Bekasi. *Jurnal Hutan Tropis*. 1(3): 242-249.
- Adrian. dan Nugratama, S. 2020. Estimasi besaran emisi karbon di Kabupaten Banyumas (Studi kasus tahun 2005-2016). *GEOGRAPHIA Jurnal Ilmiah Pendidikan Geografi*. 1(1): 32-45.
- Aklile, Y. dan Beyene, F. 2014. Examining drivers of land use change among pastoralists in Eastern Ethiopia. *Journal of Land Science*. 4(9): 402-413.
- Al Mukmin, S.A., Wijaya, A.P., dan Sukmono, A. 2016. Analisis perubahan tutupan lahan terhadap distribusi suhu permukaan dan kaitannya dengan fenomena urban heat island. *Jurnal Geodesi Undip*. 5(1), 224-233.
- Ambarwati, A., Duryat., Hidayat, W. 2019. INP vegetasi dan karbon tersimpan pada HKm Bina Wana Kecamatan Kebun Tebu Kabupaten Lampung Barat. *Jurnal Hutan Tropis*. 7(2): 112-119.
- Anjani, W., Umam, A.H., dan Anhar, A. 2022. Keanekaragaman, pemerataan, dan kekayaan vegetasi hutan pada Taman Hutan Raya Lae Kombih Kecamatan Penanggalan, Kota Subulussalam. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*. 7(2): 770-778.
- Anwar, S., Asaad, I., Budiharto., Ratnasari., Wibowo, H., Gunawan, W., Novitri, F., Rosehan, A.A.Y, M., Oktavia, E.R., Carolyn, R.D., Precylia, V., Lathif, S., Asmani, R., Purnomo, H., Utomo, P., dan Utama, K.L.R. 2021. Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (MPV). Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Direktorat Jendral

- Pengendalian Perubahan Iklim. Direktorat Inventarisasi GRK dan MPV. Jakarta.
- Aprianto, D., Wulandari, C., dan Masruri, N.W. 2016. Karbon tersimpan pada kawasan sistem agroforestri di register 39 Datar Setuju KPHL Batutegei Kabupaten Tanggamus. *Jurnal Sylva Lestari*. 4(1): 21-30.
- Ariyanti, D., Wijayanto, N., dan Hilman, I. 2018. Keanekaragaman jenis tumbuhan dan simpanan karbon pada berbagai penggunaan lahan di Kabupaten Pesisir Barat Provinsi Lampung. *Jurnal Silviculture Tropika*. 09(3): 167-174.
- Arslan, A., Gravitiyani, E., dan Irianto, H. 2020. Biomassa di atas tanah dan penghitungan simpanan karbon hutan kalibiru Kabupaten Kulon Progo. *Bioeksperimen*. 6(1): 1-8.
- Asra, R., Mappiasse, M.F., dan Nurnawati, A.A. 2020. Penerapan model CA-markov untuk prediksi perubahan penggunaan lahan di sub-DAS Bila tahun 2036. *Agrovital: Jurnal Ilmu Pertanian*. 5(1): 1-10
- Ati, R.N.A., Rustam, A., Kepel, T.L., Sudirman, N., Astrid, M., Daulat, A., Mangindaan, P., Salim, H.L., dan Hutahaean, A.A., 2014. Stok karbon dan struktur komunitas mangrove sebagai blue carbon di Tanjung Lesung, Banten. *Jurnal Segara*. 10(2): 98-171.
- Azham, Z. 2015. Estimasi cadangan karbon pada tutupan lahan hutan sekunder, semak dan belukar di Kotan Samarinda. *Jurnal AGRIFOR*. 14(2): 325-338.
- Azizah, M., Yuliana, N., dan Heriyanto. 2019. Cadangan karbon pada tegakan pohon hutan kota di Taman Margasatwa Ragunan DKI Jakarta. *Floera*. 6(1): 1-9.
- Azizah, P.N. 2017. Analisis vegetasi di kawasan sekitar Mata Air Ngambel, Kecamatan Pajangan, Kabupaten Bantul. *Jurnal Riset Daerah*. 16(1): 2685-2702.
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. *Pengukuran dan Penghitungan Cadangan Karbon – Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon Berbasis Lahan (Land-based Carbon Accounting)*. Badan Standardisasi Indonesia. SNI, 7724.
- Baderan, D.W.K., Rahim, S., Angio, M., dan Salim, A.I. 2021. Keanekaragaman, pemerataan, dan kekayaan spesies tumbuhan dari geosite potensial benteng otanaha sebagai rintisan pengembangan geopark Provinsi Gorontalo. *Al-Kaunyah: Jurnal Biologi*. 14(2): 264-274.
- Bakri. 2009. Analisis Vegetasi dan Pendugaan Cadangan Karbon Tersimpan Pada Pohon di Hutan Taman Wisata Alam Taman Eden Desa Sionggang Utara Kecamatan Lumban Julu Kabupaten Toba Samosir. (*Tesis*). Samosir.

- Behera, S.K., Sahu, N., Mishra, A.K., Bargali, S.S., Behera, M.D., dan Tuli, R. 2017. Aboveground biomass and carbon stock assessment in Indian tropical deciduous forest and relationship with stand structural attributes. *Ecological Engineering*. 99: 513–524.
- Bismark, M., Heriyanto, N., dan Iskandar, S. 2008. Biomassa dan kandungan karbon pada hutan produksi di Cagar Biosfer Pulau Siberut, Sumatera Barat. *Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*. 5(5): 397-407.
- Budi, S.S., Prijono, A., dan Kusumaningsih, K.R. 2023. Analisis vegetasi penyusun asmin tropical rain forest conversion 2, PT. Asmin Bara Bronang, Kapuas, Kalimantan Tengah. *Jurnal Wana Tropika*. 13(01): 17-24.
- Budiharto., Krisnawati, H., Manuri, S., Puwanto, J., Asaad, I., Nurhayati., Gunawan, W., Rusolono, T., Darmawan, A., Novita, A., Tosiani, A., Silva, N., Adinugroho, W.C., Marthinus, D., Dharmawan, I.W.S., Zamzani, F., Djuariah, R., Oktavia, E.R., Imansyah, T., Subarno., dan Wulandari, R. 2022. *National Forest Reference Level for Deforestation, Forest Degradation and Enhancement of Forest Carbon Stock*. Director General of Climate Change. Republik of Indonesia.
- Budiningsih, K., Ekawati, S. Gamin., Sylviani., Suryandari, E.Y., dan Salaka, D. 2016. Tipologi dan strategi pengembangan kesatuan pengelolaan hutan di Indonesia. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*. 13(1): 283-298.
- Cahyono, B.E., Febriawan, E.B., dan Nugroho, A.T. 2019. Analisis tutupan lahan menggunakan metode klasifikasi tidak terbimbing citra landsat di Sawahlunto, Sumatera Barat. *TEKNOTAN*. 13(1): 8-14.
- Cairns, M.A., Brown, S., Helmer, E.H., dan Baumgardner, G.A. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*. 111: 1-11.
- Campbell, N.A. dan Reece, J.B. 2005. *Biology*. Pearson, Benjamin Cummings. San Fransisco. 1231 hlm.
- Damanik, S.E. dan Purba, S. 2019. Perencanaan pola kemitraan peningkatan kesejahteraan petani KPH XII Kawasan Dolok Sanggul Kabupaten Humbang Hasundutan. *Jurnal Sebatik*. 23(2): 582-591.
- Darmawan, A., Warta, Z., Molidena, E., Valla, A., Firdaus, M.I., Winarno, G.D., Winarno, B., Rusolono, T., dan Tsuyuki, S. 2022. Aboveground forest carbon stock in protected area: a case study of Bukit Tigapuluh National Park, Indonesia. *Journal of Tropical Biodiversity and Biotechnology*. 07(01): 1-17.
- Deget. J. 1976. *Les Modeles Mathematiques en Ecologie*. Collection de Ecologic Masson, Paris.

- Dewanti, N.P., Muslim., dan Prihatiningsih, W.R. 2016. Analisis kandungan karbon organik total (KOT) dalam sedimen di peraran Sluke Kabupaten Rembang. *Jurnal Oseanografi*. 5(2): 202-210.
- Dharmawan, I.W.S., Noor'an, R.F., Lestari, N.S., Wahyudi, A., Suprianto, A., Naibaho, Y., Arifanti, V.B., Lugina, M., dan Wicaksono, D. 2020. *Cadangan Karbon Hutan Kalimantan Timur*. (Buku). IPB Press. Bogor. 130 hlm.
- Diana, R dan Andani, L. 2020. Keragaman jenis liana pada tutupan kanopi berbeda di Hutan Lindung Wehea, Kalimantan Timur. *Jurnal Penelitian Ekosistem Dipterokarpa*. 6(2): 149-156.
- Drupadi, T.A., Ariyanto, D.P., dan Sudadi. 2021. Pendugaan kadar biomassa dan karbon tersimpan pada berbagai kemiringan dan tutupan lahan di KHDTK Gunung Bromo UNS. *Jurnal Agrikultura*. 32(2): 112-119.
- Evizal, R. dan Prasmatiwi, F.E. 2021. Review: Pilar dan modal pertanian berkelanjutan di Indonesia. *Jurnal Galung Tropika*. 10(1): 126-137.
- Fajri, M., Wijayanto, N., dan Hilwan, I., 2022. Komposisi, struktur, dan cadangan karbon pada agroforestri kopi arabika di Kabupaten Aceh Tengah, Aceh. *Jurnal Agrotek Lestari*. 8(1): 98-106.
- Farhan, M.R., Lestari, S., Hasriaty., Adawiyah, R., Nasrullah, M., Asiyah, N., dan Triastuti, A. 2019. *Analisis Vegetasi Tumbuhan di Resort Pattunuang-Karaenta Taman Nasional Bantimurung Balusaraung*. Jurusan Biologi FMIPA UNM. Makasar.
- Farmen, H., Panjaitan, P.B.P., dan Rusli, A.R. 2014. Pendugaan cadangan karbon di atas permukaan tanah di areal kampus Universitas Nusa Bangsa. *Journal Nusa Sylva*. 14(1): 10-19.
- Fatahillah, A., Arifin., dan Jati, D.R. 2022. Analisis perubahan tutupan lahan di Kota Pontianak dengan metode penginderaan jauh. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*. 10(2): 184-193.
- Fehrmann, L., Kleinn, C., Magdon, P., dan Cruzado, C.P. 2017. *Penentuan Standar Minimum Untuk Inventarisasi Pengelolaan Hutan Pada Tingkat KPH*. Deutsche Gesellschaft fur Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmHB, FORCLIME Forests and Climate Change Programme. Jakarta. 96 hlm.
- Firdaus, M.R. dan Wijayanti, L.A.S. 2019. Fitoplankton dan siklus karbon global. *OSEANA*. 44(2): 35-48.
- Firmansyah, A., Dewi, N., haryadi, N.T., Kurnianto, A.S. 2023. Keanekaragaman vegetasi pada sistem agroforestri berbasis kopi di Desa Rowosari Kecamatan Sumberjambe Kabupaten Jember. *Jurnal Silvikultur Tropika*. 14(02): 97-105.

- Fitriana, Y.R. 2006. Keanekaragaman dan kelimpahan makrozoobentos di hutan mangrove hasil rehabilitas Taman Hutan Raya Ngurah Rai Bali. *Biodiversitas*. 7(1): 67-72.
- Hair, J.F., Ringle, C.M., dan Sarstedt, M. 2011. PLS-SEM: Indeed a silver bullet. *Journal of Marketing Theory and Practice*. 19(2): 135-151.
- Hairiah, K. dan Rahayu, S. 2007. *Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Maca Penggunaan Lahan*. World Agroforestry Center. Bogor. 77 hlm.
- Hairiah, K., Ekadinata, A., Sari, R.R., dan Rahayu, S. 2011. *Petunjuk Praktis Pengukuran Cadangan Karbon dari Tingkat Plot ke Tingkat Bentang Lahan*. Edisi Ke-2: World Agroforestry Center (ICRAF), SEA Regional Office, University Brawijaya, Malang, Indonesia.
- Hakim, R., Suyanto., dan Asyari, M. 2021. Estimasi cadangan karbon atas permukaan tanah di kawasan hutan lindung Liang Agung Kota Banjarbaru Kalimantan Selatan. *Jurnal Sylva Scientae*. 09(5): 793-802.
- Hambali, M.R., Ichsan, A.C., Valentino, N., dan Prasetyo, A.R. 2022. Estimasi simpanan karbon tegakan menggunakan citra sentinel-2A pada Kawasan Mangrove Labuan Terang Kabupaten Lombok Barat. *Jurnal Sains Teknologi dan Lingkungan*. 9(4): 723-738.
- Hanafi, I., Subhan., dan Basri, H. 2021. Analisis vegetasi mangrove (Studi kasus di Hutan Mangrove Pulau Telaga Tujuh Kecamatan Langsa Barat). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*. 6(4).
- Hardjana, A.K. 2010. Potensi biomassa dan karbon pada hutan tanaman *Acacia mangium* di HTI PT. Surya Hutani Jaya, Kalimantan Timur. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan*. 7(4): 237-249.
- Hardjana, A.K. 2011. Membangun persamaan alometrik biomassa tanaman *Shorea leprosula* di Areal IUPHHK-HA PT. ITCIKU Kalimantan Timur. *Jurnal Penelitian Dipterokarpa*. 5(1): 1-10.
- Heriansyah, I. 2005. Potensi hutan tanaman industri dalam mansequester karbon: Studi kasus di hutan tanaman akasia dan pinus. *Inovasi Online*. 3(17).
- Heriyanto, N. M. dan Subiandono, E. 2012. Komposisi dan struktur tegakan, biomassa, dan potensi kandungan karbon hutan mangrove di Taman Nasional Alas Purwo. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*. 9(1): 023-032.
- Hidayah, E.N., Fithria, A., dan Pitri, R.M.N. 2023. Estimasi stok karbon pada tutupan lahan hutan, permukiman dan lahan terbuka di Desa Mandiangin Barat. *Urnal Sylva Scientae*. 06(2): 217-225.

- Hidayat, M. 2017. Analisis vegetasi dan keanekaragaman tumbuhan di Kawasan Manifestasi Geotermal IE Suum Kecamatan Masjid Raya Kabupaten Aceh Besar. *Jurnal Biotik*. 5(2): 114-124.
- Holdaway, R.J., Mcneill, S.J., Mason, N.W.H., dan Carswell, F.E. 2014. Propagating uncertainty in plot-based estimates of forest carbon stock and carbon stock change. *Ecosystem*. 17: 627-640.
- Idris, M.H., Latifah, S., Aji, I.M.L., Wahyuningsih, E., Indriyatno., dan Ningsih, R.V. 2013. Studi vegetasi dan cadangan karbon di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Senaur, Bayan Lombok Utara. *Jurnal Ilmu Kehutanan*. 7(1): 25-36.
- Ikhwan, M., Sadjati, E., dan Insusanty, E. 2017. Pendugaan potensi tegakan ekaliptus (*Eucalyptus pellita* F. Meull) menggunakan metode *tree sampling* dan *cilcural plot*. *Wahana Forestre: Jurnal Kehutanan*. 12(2): 130-137.
- Indriyanto. 2006. *Ekologi Hutan*. Buku. Bumi Aksara. Jakarta. 210 hlm.
- Irfan, M., Widhanarto, G.O., dan Dewantara, I. 2021. Estimasi cadangan karbon dari kegiatan reklamasi blok tambang PT Citra Mineral Investindo, Tbk. Kecamatan Sandai Kabupaten Ketapang, Kalimantan Barat. *Jurnal Hutan Lestari*. 9(3): 354-365.
- Irwan, K., Aryadi, M., Peran, S.B., dan Nazari, Y.A. 2015. Kontribusi sistem dukuh terhadap aspek sosial ekonomi, sosial budaya dan lingkungan di Desa Kiram Kabupaten Banjar. *Enviro Scientiae*. 11: 94-101.
- Irwanto, I., Sahupala, A., dan Siruru, H. 2023. Keanekaragaman spesies dan pendugaan cadangan karbon atas permukaan pada tipe pengelolaan lahan Dusung Negeri Eutong, Ambon. *Jurnal Makila*. 17(2): 115-131.
- Ismaini, L., Lailati, M., Rustandi., dan Sunandar, D. 2015. Analisis komposisi dan keanekaragaman tumbuhan di Gunung Dempo, Sumatera Selatan. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*. 1(6): 1397-1402.
- Ismed, R., Hairul, B., dan Fauzi, H. 2013. Pendugaan cadangan karbon taman hutan raya Pocut Meurah Intan Provinsi Aceh. *Jurnal Manajemen Sumberdaya Lahan*. 3(1): 390-395.
- Istomo. dan Farida, N.E. 2017. Potensi simpanan karbon di atas permukaan tanah tegakan *Acacia nilotica* L. (Willd) ex. Del. Di Taman Nasional Baluran, Jawa Timur. *Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 7(2): 155-162.
- Jia, K., Xiangqin, W., Xingfa, G., Yunjun, Y., Xianhong, X., dan Bin, L. 2014. Land cover classification using landsat 8 operational land imager data in Beijing, China. *Geocarto International*. 29: 941-951.

- Junaidi., Herianti, M., Emalinda, O., Herviyanti., dan Aizah, R. 2021. Sifat fisikokimia lahan pertanian monokultur pada beberap kelas lereng di Daerah Utara Kaki Gunung Talang. *Jurnal Solum*. 18(2): 33-44.
- Juniyantia, L., Prasetyob, L.B., Apriantoa, D.P., Purnomocd, H., dan Kartodihardjoc, H. 2020. Perubahan penggunaan dan tutupan lahan, serta faktor penyebabnya di Pulau Bengkalis, Provinsi Riau (periode 1990-2019). *Journal of Natural Resources and Environmental Management*. 10(3): 419-435.
- Kadir, S. 2015. Land cover to control the level of criticality satui watershed in Province of South Kalimantan. *In Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*. 1(5): 1190-1196.
- Kardika, A.J., Sufiana, K., Rahman, A., dan Aziza, H. 2021. Arahan perubahan penggunaan lahan berbasis rendah emisi karbon di hulu DAS Jeneberang. *Jurnal Hutan Tropika*. 16(2): 147-157.
- Kasianus, R., Astiani, D., dan Iskandar. 2018. Estimasi kandungan karbon tegakan hutan di atas permukaan tanah pada berbagai kelas tutupan tajuk di Hutan Adat Pengajit Kabupaten Bengkayang. *Jurnal Hutan Lestari*. 6(4): 952-962.
- Komul, Y.D., Mardiatmoko, G., dan Maail, R.S. 2016. Analisis kandungan biomassa dan karbon tersimpan (*carbon stock*) pada PSP (*Plot Sampling Parmanent*) hutan Negeri Soya Kota Ambon. *Jurnal Hutan Pulau-Pulau Kecil*. 1(1): 72-83.
- KPHL Batutegi. 2014. *Rencana Pengelolaan Hutan Jangka Panjang Kesatuan Pengelolaan Hutan Lindung (RPHJP KPHL) Model Batutegi Provinsi Lampung Tahun 2014-2023*. Buku. Dinas Kehutanan Provinsi Lampung. 74 hlm.
- Krisnawati, H., Adinugroho, W.C., dan Imanuddin, R. 2012. *Monograf Model-Model Alometrik untuk Pendugaan Biomassa Pohon pada Berbagai Tipe Ekosistem Hutan di Indonesia*. Badan Penelitian dan Pengembangan Konservasi dan Rehabilitasi - Kementerian Kehutanan dan Lingkungan Hidup. Bogor.
- Krisnawati, H., Imanuddin, R., Adinugroho, W.C., dan Hutabaat, S. 2015. *Metode Standar untuk Pendugaan Emisi Gas umah Kaca dari Sektor Kehutanan di Indonesia (Versi 1)*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Konservasi dan Rehabilitas, KLHK. Bogor.
- Kusmana, C. dan Hikmat, A. 2015. Keanekaragaman hayati flora di Indonesia. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 5(2): 187-198.
- Kusumaningrat, M.D., Subiyanto, S., dan Yuwono, B.D. 2017. Analisis perubahan penggunaan dan pemanfaatan lahan terhadap rencana tata ruang wilayah

- tahun 2009 dan 2017 (studi kasus: Kabupaten Boyolali). *Jurnal Geodesi Undip*. 6(4): 443-452.
- Latae, A., Monde, A., dan Hasanah, U. 2019. Cadangan karbon pada tiga macam penggunaan lahan di Desa Tudua, Kecamatan Bunguk Tengah, Kabupaten Morowali. *E-J. Agrotekbis*. 7(3): 293-298.
- Lestari, K.W. dan Dewi, N. 2023. Potensi simpanan karbon pada beberapa tipe agroforestri berbasis kopi robusta di Desa Rowosari, Jember. *Jurnal Silviculture Tropika*. 14(02): 150-157.
- Lestari, S.C. dan Arsyad, M. 2018. Studi penggunaan lahan berbasis data citra landsat dengan metode Sistem Informasi Geografis (SIG). *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*. 14(1): 81-88.
- Lestari, T.A., Rahadian, A., dan Purwanto, M.Y.J., Wientarsih, I. 2016. Persamaan alometrik biomassa dan masa karbon *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. Studi kasus Cagar Alam Pulau Dua Banten. *Jurnal Silviculture Tropika*.
- Loppies, A.B.R. dan Tetelay, F.F. 2015. Pendugaan cadangan karbon atas permukaan tanah pada tipe penggunaan lahan dusung di Pulau Ambon. *Jurnal Hutan Tropis*. 3(3): 214-221.
- Lugina, M., Ginoga, K.L., Wibowo, A., Binnura, A., dan Partiani, T. 2011. *Prosedur Operasi Standar (SOP) untuk Pengukuran Stok Karbon di Kawasan Konservasi*. Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan Kementerian Kehutanan Indonesia. Bogor.
- Maizaldi., Amin, B., dan Samiaji, J. 2019. Estimasi jumlah stok yang tersimpan di lahan basah Desa Sungai Tohor Kecamatan Tebing Tinggi Timur Kabupaten Kepulauan Meranti Provinsi Riau. *Dinamika Lingkungan Indonesia*. 6(2): 60-66.
- Manuri, S., Putra, C.A.S., dan Saputra, A.D. 2011. *Teknik pendugaan cadangan karbon hutan*. Merang REDD Pilot Project. Sumatera Selatan. 4 hlm.
- Mardi., Saputra, A., dan Agustina, P. 2015. Analisis struktur vegetasi di Kecamatan Ampel Kabupaten Boyolali. *BIOEDUKASI*. 8(1): 28-42.
- Margalef, R. 1958. *Temporal Succession and Spatial Heterogeneity in Phytoplankton in A. Buzzati-Traverso(ed)*. Perspective in Marine Biology. University California Press. 323-349.
- Marpaung, I dan Winarto. 2018. Pengaruh pengembangan karir terhadap penilaian prestasi kerja (studi kasus pada PT. PLN (Persero) Wilayah Sumatera Utara). *Jurnal Ilmiah Methonomi*. 4(1): 79-86.

- Maryudi, A. 2016. Arahana tata hubungan kelembagaan kesatuan pengelolaan hutan (KPH) di Indonesia. *Jurnal Ilmu Kehutanan*. 10(1): 57-68.
- Masripatin, N., Ginoga, K., Pari, G., Darmawan, W.S., Siregar, K.A., Wibowo, A., Puspasari, D., Utomo, A.S., Sakuntaladewi, N., Lugina, M., Indartik., dan Wulandari. 2010. Cadangan karbon pada berbagai tipe hutan dan jenis tanaman di Indonesia. *Jurnal Ilmu Kehutanan*. 7(1).
- Mass, G.C.B., Sanquette, C.R., Marques, R., Machado, S.A., dan Sanquetta, M.N.I. 2020. Quantification of carbon in forest necromass: State of the art. *Cerne*. 26(1): 98-108.
- Melaponty, D.P., Fahrizal., Manurung, T.F. 2019. Keanekaragaman jenis vegetasi tegakan hutan pada Kawasan Hutan Kota Bukit Senja Kecamatan Singkawang Tengah Kota Singkawang. *Jurnal Hutan Lestari*. 7(2): 893-904.
- Mokodompit, R., Kandowangko, N.Y., dan Hamidun, M.S. 2022. Keanekaragaman tumbuhan di kampus Universitas Negeri Gorontalo Kecamatan Tilong Kabila Kabupaten Bone Bolango. *BIOSFER: J. Bio & Pend. Bio*. 7(1): 75-80.
- Muhardi, M., Sutisna, M., Basir., dan Lahjie, A.M. 2012. Perubahan persediaan hara dan karbon akibat konversi hutan alam menjadi lahan perkebunan di sekitar kawasan Taman Nasional Lore Lindu. *Journal Agroland*. 19(1): 27-35.
- Mulyana, B., Purwanto, R.H., Sari, P.I., Marpaung, A.A., Hidayatullah, M.F., Putra, I.S.R., Putra, A.D., dan Reorita, R. 2021. Model alometrik pendugaan biomassa dan karbon semai di Hutan Mangrove Pangarengan, Cirebon, Jawa Barat. *Jurnal Galam*. 2(1): 29-40.
- Mulyana, B., Soeprijadi, D., dan Purwanto, R.H. 2020. Allometric model of wood biomass and carbon (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth Ex Walp.) at bioenergy plantation in Indonesia. *Forestry Ideas*. 26(1): 153–164.
- Murni, S.D., Agustina., dan Harianti, M. 2023. Dinamika karbon dan aktivitas β -glukosidase di *topsoil* dan *subsoil* lahan pertanian monokultur Negeri Alahan Panjang Sumatera Barat. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 10(2): 393-400.
- Naharuddin. 2017. Komposisi dan struktur vegetasi dalam potensinya sebagai parameter hidrologi dan erosi. *Jurnal Hutan Tropis*. 5(2): 134-142.
- Nahlunnisa, H., Zuhud, E.A.M., dan 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., S.B. Yuwono., dan R. Qurniaty. 2014. Potensi penyerapan karbon pada sistem agroforestri di Desa Pesawaran Indah, Kecamatan Padang Cermin, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung. *Jurnal Sylva Lestari*. 2: 11-20.
- Nestle. 2022. *About Us*. <https://www.nestle.com/>. Diakses pada tanggal 12 September 2024 pukul 15.43.
- Nugroho, A.S., Anis, T., dan Ulfah, M. 2015. Analisis keanekaragaman jenis tumbuhan berbuah di hutan lindung Surokonto, Kendal, Jawa Tengah dan potensinya sebagai kawasan konservasi burung. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*. 1(3): 472-476.
- Nuraeni, R., Sitorus, S.R.P., dan Panuju, D.R. 2017. Analisis perubahan penggunaan lahan dan arahan penggunaan lahan dan arahan penggunaan lahan wilayah di Kabupaten Bandung. *Buletin Tanah dan Lahan*. 1(1): 79-85.
- Nuraina, I., Fahrizal., dan Prayogo, H. 2018. Analisis komposisi dan keanekaragaman jenis tegakan penyusun Hutan Tembawang Jelomuk di Desa Meta Bersatu Kecamatan Sayan Kabupaten Melawi. *Jurnal Hutan Lestari*. 6(1): 137-146.
- Nuzulah, S.N., Purwanto, P., dan Bachri, S. 2016. Kajian dinamika suksesi vegetasi di kawasan terdampak erupsi Gunung Api Kelud berbasis data penginderaan jauh tahun 2013-2016. *Jurnal Media Komunikasi Geografi*. 17(1): 1-17.
- Odum, E.P. 1996. *Dasar-Dasar Ekologi*. Edisi ketiga. Buku. Gajah Mada Universtas Press. Yogyakarta.
- Pandey, S., Shukla, R., Saket, R., dan Verma, D., 2019. Enchaning carbon stock accumulation through forest protection and regeneration. *International Journal of Environment*. 8(1): 16-21.
- Pangestu, P. 2023. Nilai Ekonomi Karbon Tersimpan Pada Berbagai Karakteristik Lahan di KPH Batutegei. (*Skripsi*). Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Lampung.
- Parresol, B.R. 1999. Assessing tree and stand biomass: A review with examples and critical comparisins. *For. Sci*. 45(4): 573-593.
- Pradipta, D dan Sutrisno, A.J. 2022. Penilaian korelasi biodiversitas dan karbon tersimpan pada Taman Kota Bendosari, Kota Salatiga. *Jurnal Agrifor*. 21(2): 227-240.
- Prayitno, D.E. dan Ichsan, A.C. 2021. Problematika hukum kesatuan pengelolaan hutan di Indonesia. *Jurnal Belantara*. 4(1): 75-88.
- 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.
- Prakoso, T.B., Afiati, N., dan Suprpto, D. 2017. Biomassa kandungan karbon dan serapan CO₂ pada tegakan mangrove di Kawasan Konservasi Mangrove Bedono, Demak. *Jurnal of Maquares*. 6(2): 156-163.
- Purnama, P., Wasis, B., dan Hilwan, I. 2019. Karakteristik vegetasi di hutan alam dataran rendah, hutan tanaman, dan lahan pasca tambang nikel di Kabupaten Bombana. *Jurnal Silvikultur Tropika*. 10(03): 140-145.
- Purnomo, T., Bramantyo, R.Y., Setiono, G.C., dan Suwadji. 2019. Peningkatan kesejahteraan masyarakat melalui program kemitraan perhutani di Kecamatan Ngancar Kabupaten Kediri (Studi Implementasi Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No.P.83/Menlhk/Setjen/Kum.1/10/2016 tentang Kemitraan Kehutanan). *Jurnal Transparasi Hukum*. 2(2): 122-137.
- Rahayu, E.M., Syarifuddin, A., dan Galus, I. 2020. Analisis vegetasi di Kawasan Manjangan Taman Nasional Bali Barat (TNBB). *Journal of Forestry Research*. 3(2).
- Rahayu, S. dan Harja, D. 2013. *Dinamika Diversitas Tumbuhan dan Cadangan Karbon pada Skala Lanskap dan Tutupan Lahan*. World Agroforestry Centre (ICRAF) Southeast Asia. Bogor. 60 hlm.
- Rahmadanty, A., Handayani, I.G.A.K.R., dan Najicha, F.U. 2021. Kebijakan pembangunan kesatuan pengelolaan hutan di Indonesia: suatu terobosan dalam menciptakan pengelolaan hutan lestari. *Al' Adl: Jurnal Hukum*. 13(2): 264-283.
- Rahmah, F., Basri, H., dan Sufardi. 2015. Potensi karbon tersimpan pada lahan mangrove dan tambak di kawasan pesisir kota Banda Aceh. *Jurnal Manajemen Sumberdaya Lahan*. 4(1): 527-534.
- Rawana., Wijayani, S., dan Masrur, M.A. 2022. Indeks nilai penting dan keanekaragaman komunitas vegetasi penyusun hutan di Alas Burno SUBKPH Lumajang. *Jurnal Wana Tropika*. 12(02): 80-89.
- Retnowati, A., Rugayah., dan Rahajoe, J.S. 2019. *Status Keanekaragaman Hayati Indonesia: Kaya Jenis Tumbuhan dan Jamur Indonesia*. LIPI Press. Jakarta. 139 hlm.
- Retnowati, E. 1998. Kontribusi hutan tanaman *Eucalyptus grandis* Maiden sebagai rosot karbom di Tapanuli Utara. *Buletin Penelitian Hutan*. 611: 1-9.
- Rinjani, A.R., Setyaningsih, L., dan Rusli, A.R. 2018. Potensi serapan karbon di Jalur Hijau Kota Bogor. *Jurnal Nusa Sylva*. 16(1): 32-40.

- Rudiansah, D., Nurlaila, A., dan Karyaningsih, I. 2018. Keanekaragaman tanaman pangan kehutanan pada lahan agroforestry di Desa Haurkuning Kecamatan Nusaherang Kabupaten Kuningan. *Wanakarsa*. 12(2).
- Ruhimat, I.S. 2010. Implementasi kebijakan kesatuan pengelolaan hutan (KPH) di Kabupaten Banjar. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*. 7(3): 169-178.
- Rulianto, A., Bintoro, A., Winarno, G.D., dan Safe'i, R. 2019. Analisis vegetasi dalam upaya pengembangan wisata di Taman Wisata Alam Puti Kayu Palembang Provinsi Sumatera Selatan. *Jurnal Biologi Eksperimen dan Keanekaragaman Hayati*. 5(2): 7-14.
- Rusolono, T., Tiryana, T., dan Purwanto, J. 2015. *Panduan Survei Cadangan Karbon dan Keanekaragaman Hayati di Sumatera Selatan*. German International Cooperation (GIZ), Dinas Kehutanan, Palembang. 73 hlm.
- Sahuri. 2019. Potensi cadangan karbon pada sistem agroforestri berbasis karet. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*. 16(2): 105-115.
- Sampurno, R.M. dan Thoriq, A. 2016. Klasifikasi tutupan lahan menggunakan citra landsat 8 operation land image (OLI) di Kabupaten Sumedang. *Jurnal Teknotan*. 10(2): 62-71.
- Saputri, A.I., Iswandaru, D., Wulandari, C., dan Bakri, S. 2022. Studi korelasi keanekaragaman burung dan pohon pada lahan agroforestri blok pemanfaatan KPHL Batutege. *Jurnal Belantara*. 5(2): 232-245.
- Sari, D.N., Wijaya, F., Mardana, M.A., dan Hidayat, M. 2018. Analisis vegetasi tumbuhan dengan metode transek (*line transect*) di kawasan Hutan Deudap Pulo Aceh Kabupaten Aceh Besar. *Prosiding Seminar Nasional Biotik*. Program Studi Pendidikan Biologi, FTK UIN Ar-Raniry Banda Aceh. Aceh.
- Sawo, M.K., Rogi, O,H,A., dan Lakat, R.S.M. 2021. Analisis pengembangan kawasan permukiman berdasarkan kemampuan lahan di distrik Muara Tami. *Jurnal Spasial*. 8(3): 311-325.
- Schadel, C., Bader, M.K.F., Schuur, E.A., Biasi, C., Bracho, R., Čapek, P., De Baets, S., Diáková, K., Ernakovich, J., dan Estop, A.C. 2016. Potential carbon emissions dominated by carbon dioxide from thawed permafrost soils. *Nature climate change*. 6(10): 950-953.
- Septiono, D.S. dan Mussadun. 2016. Model perubahan penggunaan lahan untuk mendukung rencana pengelolaan kesatuan pengelolaan hutan (studi kasus KPH Yogyakarta). *Jurnal Pembangunan Wilayah dan Kota*. 12(3): 277-292.
- Setiawan, A. 2022. Keanekaragaman hayati Indonesia: masalah dan upaya konservasinya. *Indonesian Journal of Conservation*. 11(1): 13-21.

- Setiawan, G., Syaufina, L., dan Puspaningsih, N. 2015. Estimasi hilangnya cadangan karbon dari perubahan penggunaan lahan di Kabupaten Bogor. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 5(2): 141-147.
- Shelinda, H., Putranto, dan Apriyanto, E. 2023. Keanekaragaman serangga tanah pada lahan agroforetri dan monokultur kayu bawang di Provinsi Bengkulu. *Journal of Global Forest and Environmental Science*. 3(2): 46-56.
- Simarmata, F.S. dan Wahyuningsih, H. 2012. Keanekaragaman makrozoobenthos pada hutan mangrove yang direhabilitasi di Pantai Timur Sumatera Utara. *Jurnal Natur Indonesia*. 11(2): 94-103.
- Situmorang, J.P., Sugianto., dan Darusman. 2016. Estimation of carbon stock stands using EVI and NDVI vegetation index in production forest of lembah Seulawah subdistrict, Aceh Indonesia. *Aceh Int. J. Sci. Technol.* 5(3): 126-139.
- Smith, P.L., Wilson, B., Nadolny, C., dan Lang, D. 2000. *The Ecological Role of The Native Vegetation of New South Wales*. Native Vegetation Advisory Council. New South Wales.
- Soerianegara, I. dan Indrawan, A. 2005. *Ekosistem Hutan Indonesia*. Laboratorium Ekologi Fakultas Kehutanan IPB. Bogor.
- Solehah, I., Subhan., dan Basri, H. 2023. Keanekaragaman jenis vegetasi di kawasan Hutan Wisata Bur Telege Kesatuan Pengelolaan Hutan (KPH) Wilayah II, Kabupaten Aceh Tengah. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*. 8(1): 541-548.
- Sorbu, A.W., Cabut, R.L., danRumatora, A. 2021. Variasi nilai total estimasi dan nekromassa pada beberapa tipe hutan di Kabupaten Monokwari Provinsi Papua Barat. *Jurnal Kehutanan Papuaasia*. 7(1): 68-79.
- Sribianti, I., Sultan., Muthaminnah., Daud, M., Abdullah, A.A., dan Sardiawan, A. 2022. Estimasi biomassa, cadangan karbon, produksi O₂ dan nilai jasa lingkungan serapan CO₂ tegakan hutan di Taman Hutan Raya Abdul Latief. *Jurnal Hutan dan Masyarakat*. 14(1): 12-26.
- Sriwiyanti, I. 2018. Estimasi Stok Karbon Tanaman Peneduh Jalan Protokol Kota Semarang. (*Skripsi*). Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Stevanus, C.T. dan Sahuri. 2014. Potensi peningkatan penyerapan karbon di perkebunan karet Sembawa, Sumatra Selatan. *Widyariset*. 17(3): 363-371.
- Stirling, G. dan Wilsey, B. 2001. Empirical Relationships between species richness, evenness, and proportional diversity. *The American Naturalist*. 158(3): 286-299.

- Sugirahayu, L. dan Rusdiana, O. 2011. Perbandingan simpanan karbon pada beberapa penutupan lahan di Kabupaten Paser, Kalimantan Timur berdasarkan sifat fisik dan sifat Kimia Tanahnya. *Jurnal Silvikultur Tropika*. 02(03): 149-155.
- Sugiyano. 2016. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R & D*. Alfabet. Bandung.
- Sugiyono. 2006. Penanggulangan pemanasan global di sektor penggunaan energi. *Jurnal Sains dan Teknologi Modifikasi Cuaca*. 7(2): 15-19.
- Suryono., Soenardjo, N., Wibowo, E., Ario, E., dan Rozy, E.F. 2018. Estimasi kandungan biomassa dan karbon di hutan mangrove perancak Kabupaten Jembrana, Provinsi Bali. *Buletin Oseanografi Marina*. 7(1): 1-8.
- Susanti, E. 2022. Estimasi Biomassa dan Karbon Tersimpan pada Pohon di Kawasan Hutan Lindung Pantai Kuala Baru, Aceh Singkil. (*Skripsi*). Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry. Banda Aceh.
- Sutarahardja, S.S., Hardjorajitno, S., Manan., Ngadino, W., Soekotjo, P., Wiroatmojo, Y., Setiadi, R., Atmawidjaja, H.B., Nasoetion., dan Soediono, J. 1982. *Pedoman dan Petunjuk Inventarisasi Hutan*. Direktorat Bina Program Kehutanan. Bogor.
- Sutaryo, D. 2009. *Penghitungan Biomassa Sebuah Pengantar untuk Studi Karbon dan Perdagangan Karbon*. Wetlands International Indonesia Programme. Bogor. 48 hlm.
- Sutoro. 2007. Respon terkorelasi karakter sekunder tanaman jagung pada seleksi di lingkungan pemupukan berbeda. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*. 26 (2): 120.
- Sutriani, W. dan Febriandi. 2020. Pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap peningkatan suhu permukaan di Kota Jambi. *Jurnal Buana*. 4(5): 1-9.
- Syahputra, N., Mawardati., dan Suryadi, S. 2017. Analisis faktor yang mempengaruhi petani memilih pola tanam pada tanaman perkebunan di Desa Paya Palas Kecamatan Ranto Peureulak Kabupaten Aceh Timur. *Agri: Jurnal Agribisnis Universitas Malikussaleh*. 2(1): 41-49.
- Syam'ani., Agustina, A., Susilawati., dan Nugroho, Y. 2012. Cadangan karbon di atas permukaan tanah pada berbagai sistem penutupan lahan di sub-sub DAS Amandit. *Jurnal Hutan Tropis*. 13(2): 148-158.
- Tampubolon, E.P., Setiawan, A., Sudiarmo. 2019. Kajian database di perkebunan kopi rakyat dan PTPN XII dengan naungan yang berbeda. *Jurnal Produksi Tanaman*. 7(1): 81-89.

- Umar, F.P., Sela, R.L., dan Tarore, R.C. 2016. Perubahan fungsi pemanfaatan ruang di Kelurahan Mogolaing Kota Kotamobagu. *SPASIAL*. 3(3): 156-163.
- Uthbah, Z., Sudiana, E., dan Yani, E. 2017. Analisis biomassa dan cadangan karbon pada umur tegakan damar (*Agathis dammara* (Lamb.) Rich.) di KPH Banyumas Timur. *Scripta Biologica*. 4(2): 119-124.
- Wahyuni, H dan Suranto. 2021. Dampak deforestasi hutan skala besar terhadap pemanasan global di Indonesia. *JIIP: Jurnal Ilmiah Ilmu Pemerintahan*. 6(1): 148-62.
- Wahyuningsih, E., Indriyanto., dan Ningsih, R.P. 2013. Studi vegetasi dan cadangan karbon di kawasan hutan dengan tujuan khusus (KHDTK) Senaru, Bayan Lombok Utara. *Jurnal Ilmu Kehutanan*. 7(1): 25-36.
- Waru, A.T., Rukminasari, N., Inaku, D.F., Yanuarita, D., dan Supriadi. 2022. Estimasi cadangan karbon di atas permukaan tanah Hutan Mangrove Kuri Caddi menggunakan citra sentinel-2A. *Jurnal Pengelolaan Perairan*. 4(1): 13-24.
- Widayani, D.P. dan Usodri, K.S. 2020. Kajian kesesuaian lahan perkebunan kopi rakyat Kawasan Lereng Gunung Arjuna Kabupaten Malang. *Jurnal Arinika*. 4(2): 108-118.
- Widia, S., Herawatiningsih, R., dan Tavita, G.E. 2018. Keanekaragaman jenis tumbuhan yang berpotensi sebagai tanaman hias dalam kawasan IUPHHK-HTI PT. Bahtara Alam Lestari di Desa Sekabu Kecamatan Sadaniang Kabupaten Mampawah. *Jurnal Hutan Lestari*. 6(1): 147-157.
- Wulandari, C., Harianto, S.P., dan Novasari, D. 2021. Pendugaan stok karbon pada pola tanaman agroforestri sederhana dan agroforestri kompleks di KPH Batuteji, Kabupaten Tanggamus. *Jurnal Belantara*. 4(2): 113-126.
- Yu, T., Feng, L., Ruong, W., dan Dan, Z. 2014. Effect of land use and cover change on terrestrial carbon stocks in urbanized area: a study from Changzhou, China. *Journal of Cleaner Production*. 1-7 hlm.
- Yuliani, E.L., Heri, V., Bakara, D.O., Sammy, J., dan Ariesta, D.L. 2023. *Keanekaragaman Hayati: Pengenalan Materi untuk Pengembangan Kurikulum Merdeka dan Muatan Lokal Sekolah Dasar dan Sekolah Menengah Pertama di Kabupaten Kapuas Hulu*. CIFOR dan Yayasan Riak Bumi. Bogor. 43 hlm.
- Yuniawati. dan Suhartana, S. 2014. Potensi karbon pada limbah pemanenan kayu *Acacia crassicarpa*. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 12: 21-31.