

STOK KARBON TINGGI DI KAWASAN TAMAN NASIONAL GUNUNG CIREMAI

Muhammad Attarik Hisyam Akbar A¹, Iing Nasihin², Dede Kosasih¹

¹Program Studi Kehutanan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, Universitas Kuningan, Indonesia

²Program Studi Ilmu Lingkungan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, Universitas Kuningan, Indonesia
Email: muhammadattarikhisyamakbar@gmail.com

Abstract

The issue of climate change and global warming has become a major global concern, primarily driven by increasing greenhouse gas (GHG) concentrations. Forest ecosystems play a crucial role in mitigating climate change through their capacity to store carbon. This study aims to estimate aboveground biomass and carbon stocks across different land cover types in the Mount Ciremai National Park (TNGC), West Java, Indonesia. A stratified random sampling method was employed, and remote sensing data (Landsat 8 imagery) along with field measurements were used to classify land cover and calculate carbon stocks. The study identified three primary land cover types: mixed forest, pine forest, and shrubland. Biomass and carbon storage were estimated using established allometric equations. The results showed that mixed forest had the highest carbon stock (769,293 ton/ha), followed by pine forest (506,73 ton/ha), while shrubland had the lowest (34,48 ton/ha). Based on the carbon stock classification, the mixed forest and pine forest fall into the High Carbon Stock (HK3) category, while shrublands fall into the Bush (B) category.

Keywords: carbon stock, biomass, land cover, remote sensing, Mount Ciremai National Park.

Abstrak

Isu perubahan iklim dan pemanasan global telah menjadi perhatian global utama, terutama didorong oleh peningkatan konsentrasi gas rumah kaca (GRK). Ekosistem hutan memainkan peran penting dalam mitigasi perubahan iklim melalui kapasitasnya untuk menyimpan karbon. Studi ini bertujuan untuk memperkirakan biomassa di atas permukaan tanah dan stok karbon di berbagai tipe tutupan lahan di Taman Nasional Gunung Ciremai (TNGC), Jawa Barat, Indonesia. Metode pengambilan sampel acak bertingkat digunakan, dan data penginderaan jauh (citra Landsat 8) bersama dengan pengukuran lapangan digunakan untuk mengklasifikasikan tutupan lahan dan menghitung stok karbon. Studi ini mengidentifikasi tiga tipe tutupan lahan utama: hutan campuran, hutan pinus, dan semak belukar. Biomassa dan penyimpanan karbon diperkirakan menggunakan persamaan alometrik yang telah ditetapkan. Hasil menunjukkan bahwa hutan campuran memiliki stok karbon tertinggi (769,293 ton/ha), diikuti oleh hutan pinus (506,73 ton/ha), sedangkan semak belukar memiliki stok karbon terendah (34,48 ton/ha). Berdasarkan klasifikasi stok karbon, hutan campuran dan hutan pinus termasuk dalam kategori Stok Karbon Tinggi (HK3), sedangkan semak belukar termasuk dalam kategori Semak (B).

Kata kunci: stok karbon, biomassa, tutupan lahan, penginderaan jauh, Taman Nasional Gunung Ciremai.

PENDAHULUAN

Isu lingkungan yang sedang hangat dibicarakan saat ini adalah perubahan iklim dan pemanasan global. Hal ini ditandai dengan kenaikan kadar Gas Rumah Kaca (GRK) seperti gas karbondioksida (CO₂), metana (CH₄), dan nitrous (N₂O). Dampak dari perubahan iklim dan pemanasan global adalah peningkatan suhu rata-rata di atmosfer, laut, dan daratan yang berdampak besar bagi kesejahteraan manusia secara umum. Peningkatan kadar GRK di atmosfer disebabkan oleh aktivitas manusia yang merusak lingkungan seperti pembakaran hutan, pengeringan lahan gambut, dan peningkatan jumlah kendaraan bermotor yang menghasilkan gas karbonmonoksida (CO). Salah satu cara untuk mengurangi dampak dari perubahan iklim dan pemanasan global adalah dengan mengurangi emisi karbon, yang berarti mempertahankan cadangan karbon yang

ada. Fungsi tumbuhan sebagai penyimpan cadangan karbon menyebabkan konsentrasi CO₂ di atmosfer menurun (Andi Khairil, 2019).

Menurut Adinugroho *et al.* (2018), keadaan peningkatan kandungan karbon di atmosfer akan mengakibatkan kenaikan suhu pada permukaan bumi yang dapat mengakibatkan efek rumah kaca dan pemanasan global. Banyaknya karbon di udara dapat mengganggu lapisan atmosfer dan menyebabkan cahaya matahari yang masuk ke bumi terasa lebih panas. Tumbuhan dapat mengurangi kandungan karbon di atmosfer melalui proses fotosintesis dan menyimpannya dalam jaringan tumbuhan. Peran vegetasi sangatlah penting dalam menyerap karbondioksida untuk mengatasi pemanasan global yang disebabkan oleh efek rumah kaca dan CO₂ di atmosfer.

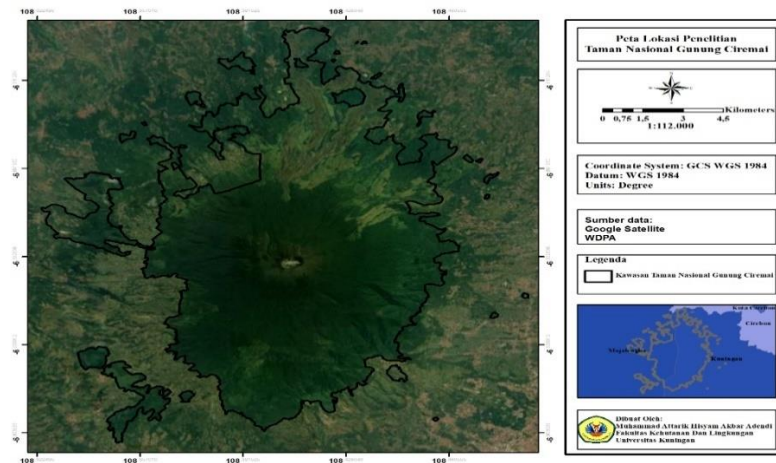
Hutan dapat berfungsi sebagai penyerap karbon sehingga menjadi penting untuk mempertahankan fungsinya. Semakin lama vegetasi di dalam hutan maka cadangan karbon akan semakin besar karena laju pertambahan biomassa akan semakin meningkat dari waktu ke waktu. Perhitungan jumlah karbon dalam suatu hutan perlu dilakukan untuk mengetahui jumlah karbon yang ada pada tumbuhan dan di atmosfer (Farmen *et al.*, 2014).

Menurut Putra *et al.* (2022) teknologi penginderaan jauh memberikan banyak keuntungan dalam mengukur, memantau, dan memetakan struktur hutan, serta pemetaan biomassa diatas tanah yang bersifat temporal dan akurat secara spasial. Informasi stok karbon di atas permukaan tanah dapat diperoleh secara konvensional, namun memerlukan biaya, sumber daya, dan waktu yang besar. Untuk itu diperlukan teknologi penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG).

Kawasan konservasi gunung ciremai memiliki keanekaragaman hayati yang tinggi, termasuk flora dan fauna langka dan endemik, serta berbagai jenis burung yang dilindungi. Selain itu, karena keanekaragaman hayatinya, hutan lindung ini juga berfungsi sebagai tempat resapan air bagi wilayah sekitarnya (Fajarwati, 2017). Sejalan dengan pendapat Iskandar *et al.* (2020) kawasan Taman Nasional Gunung Ciremai memiliki keanekaragaman tumbuhan yang sangat tinggi, namun fungsinya belum diketahui dalam upaya menekan gas karbon dioksida di atmosfer. Oleh karena itu perlu adanya perhitungan cadangan biomassa dan karbon pada berbagai tipe tutupan lahan di kawasan Taman Nasional Gunung Ciremai untuk memberikan informasi tentang biomassa dan cadangan karbon. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui cadangan biomassa dan karbon di kawasan Taman Nasional Gunung Ciremai dan mengetahui sebaran stok karbon tinggi di kawasan Taman Nasional Gunung Ciremai.

METODE PENELITIAN

Desain penelitian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu penelitian kuantitatif dengan metode sampel acak berdasarkan strata (*Stratified Random Sampling*) untuk mengetahui cadangan biomassa dan karbon di berbagai tipe tutupan lahan pada kawasan Taman Nasional Gunung Ciremai. Penelitian dilakukan di Kawasan Taman Nasional Gunung Ciremai, Jawa Barat. Mulai bulan Juli sampai Oktober 2024.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Populasi dalam penelitian ini yaitu tutupan lahan yang berada pada kawasan Taman Nasional Gunung Ciremai. Sedangkan sampel penelitian yang diambil yaitu, plot contoh pengukuran biomassa pada setiap tutupan lahan.

Data dalam penelitian ini terdiri dari 2 bagian yaitu data tutupan lahan dan data parameter pengukuran biomassa yaitu diameter pohon:

1. Tutupan Lahan

Data dan informasi tutupan lahan diperoleh melalui interpretasi citra *Landsat 8 path 121 row 65* perekaman 11 Juni 2023 yang diperoleh dari *United States Geological Survey (USGS)* melalui laman <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Informasi awal tutupan lahan diperoleh dari observasi lapangan dengan membuat *training sample* setiap tipe atau kelas tutupan lahan di wilayah penelitian menggunakan *GPS*.

2. Pengukuran Biomassa Pohon

a. Penentuan plot contoh

Dalam penelitian ini sampel vegetasi yang diambil pada kawasan Taman Nasional Gunung Ciremai dibagi menjadi tiga tipe tutupan lahan yaitu, hutan campuran, hutan pinus, dan semak belukar. Menurut (BTNGC, 2023) luas total kawasan Taman Nasional Gunung Ciremai seluas 14.841,30 ha. Menurut (Congalton dan Green 1999, dalam Siswoyo, 2022) untuk setiap kelas tutupan lahan, setidaknya lima puluh sampel dikumpulkan untuk wilayah dengan luas kurang dari 400.000 ha. Jumlah plot contoh pada penelitian ini dihitung menggunakan *tools winrock calculator* untuk mempermudah dalam perhitungan sampel yang akan di survei ketika di lapangan. Jumlah plot contoh berdasarkan perhitungan menggunakan *tools winrock calculator* tersaji dalam tabel 2.

Tabel 2 Jumlah Plot di Berbagai Tipe Tutupan Lahan

Jenis Tutupan Lahan	Luas Tutupan Lahan (ha)	Rata-rata Biomassa (ton/ha)	Standar Deviasi (ton/ha)	Ukuran Plot (ha)	Rencana Jumlah Plot	Realisasi
Hutan Campuran	6458	150*	49,47***	0,05	31	50

Jenis Tutupan Lahan	Luas Tutupan Lahan (ha)	Rata-rata Biomassa (ton/ha)	Standar Deviasi (ton/ha)	Ukuran Plot (ha)	Rencana Jumlah Plot	Realisasi
Hutan Pinus	4396	55**	34,11***	0,05	14	50
Semak Belukar	3594	25**	19,82***	0,05	7	50
Total					52	150

Sumber: *(Rosoman *et al.*, 2017); **(Siswoyo, 2022); *** (Smart, 2017)

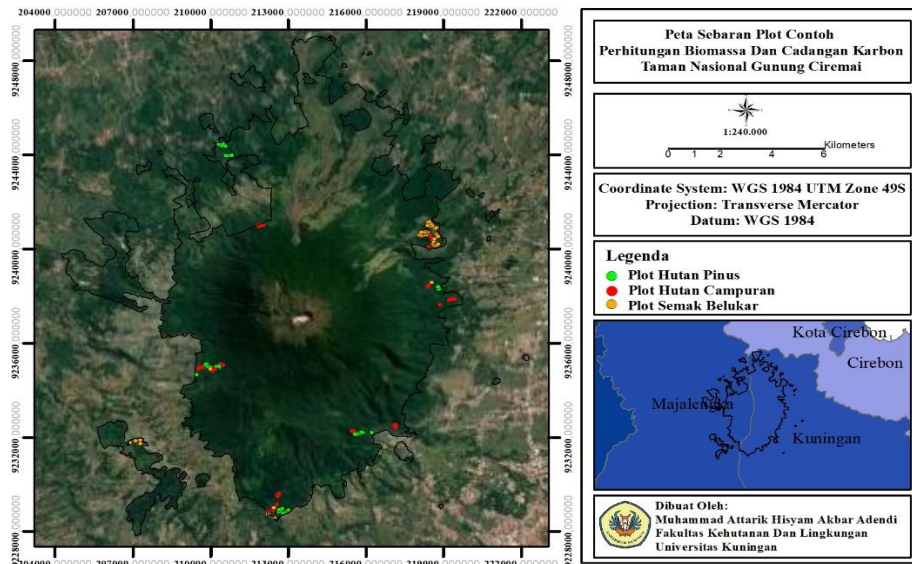
Untuk perhitungan jumlah plot contoh masing-masing tipe tutupan lahan dihitung menggunakan rumus seperti di bawah ini:

$$n = \left(\frac{t}{E} \right)^2 \cdot (\sum W_i * S_i)$$

Keterangan:

- n = Jumlah plot sampel
- t = Nilai *t-Student*, pada tingkat kepercayaan tertentu
- E = *Margin of Error* yang diterima
- W_i = Bobot relative luas stratum I (luas stratum dibagi luas kajian)
- S_i = Prakiraan *Standard Deviation* pada stratum i

Pengambilan titik plot contoh pengukuran biomassa dan cadangan karbon yang diambil sebanyak 150 titik plot contoh dari dua kabupaten (Kuningan dan Majalengka) di kawasan TNGC. Penentuan titik plot contoh berdasarkan tipe tutupan lahan. Sebaran titik Plot contoh pengukuran biomassa dan cadangan karbon disajikan pada gambar 3.



Gambar 2 Peta Sebaran Plot Contoh Perhitungan Biomassa dan Cadangan Karbon

b. Pengukuran dimensi pohon

Pengambilan data dilakukan pada plot contoh dengan metode *non-destructive* untuk mengukur dimensi pada tingkat pohon dan tiang untuk setiap kelas tutupan lahan.

Jumlah plot contoh yang diukur pada setiap tutupan lahan dihitung berbasis luas tiap kelas tutupan lahan menggunakan *tools winrock calculator*. Data yang diambil yaitu diameter pohon dan jumlah pohon, berikut langkah-langkahnya:

1. Diameter pohon diukur pada setiap plot menggunakan pita ukur dengan melingkarkan pita ukur pada pohon setinggi dada atau *DBH (Diameter Breast Height)*.
2. Setiap plot contoh ditandai menggunakan *Global Positioning System*, untuk menyimpan data yang dipergunakan untuk pengelolaan cadangan biomassa dan karbon.

Terdapat beberapa ukuran petak yang digunakan dalam pengukuran biomassa vegetasi di TNGC, yaitu plot besar dan sub plot dengan ukuran plot besar 0,05 ha untuk pengukuran tingkat pohon dan dengan radius sejauh 13 m dari titik pusat. Sedangkan ukuran sub plot 0,01 ha untuk tingkatan tiang dengan radius dari titik pusat sejauh 7 m. Pengukuran biomassa pohon dilakukan dengan cara tidak merusak (*non destructive*). Proses berikut digunakan untuk membuat plot contoh pengukuran di sekitar penggunaan lahan yang dipilih (Rosoman *et al.*, 2017). Pemilihan plot contoh berdasarkan keterwakilan tipe tutupan lahan. Pengambilan banyaknya plot contoh tergantung dari luas tutupan lahan. Jarak plot besar dan sub plot diukur menggunakan *roll meter*. Golok digunakan untuk membuat jalur dalam penelitian jika jalur terhalang oleh semak, dan rerumputan yang tinggi.

Analisis data yang digunakan terbagi menjadi

1. Klasifikasi Tutupan Lahan

- a. Koreksi citra dan komposit band

Citra satelit yang digunakan untuk membuat peta tutupan lahan terklasifikasi yaitu citra satelit landsat 8. Untuk mempermudah mengklasifikasikan tutupan lahan *Composite band* dengan komposisi band 4:3:2 digunakan untuk menampilkan warna asli pada band.

- b. Delineasi area penelitian

Pemotongan citra dilakukan dengan menggunakan *polygon* batas kawasan pengelolaan TNGC. Hasil pemotongan citra digunakan sebagai data area target yang akan dianalisis.

- c. Penentuan area contoh

Area contoh dalam penelitian akan dikategorikan sesuai dengan klasifikasi penutupan lahan.

- d. Klasifikasi

Untuk klasifikasi penutupan lahan, survei lapang dilakukan untuk menentukan area contoh berupa titik koordinat lokasi pengukuran untuk masing-masing tipe penutupan lahan. Pada penelitian ini proses klasifikasi lahan dilakukan dengan metode *maximum likelihood*. Metode klasifikasi "*maximum likelihood*" merupakan metode yang paling banyak digunakan dalam proses pencitraan udara, setiap piksel dari "*maximum likelihood*" diklasifikasi menjadi beberapa kelas yang dimaksud (Wijaya, 2015).

e. Uji akurasi klasifikasi

Untuk mengetahui presentase ketelitian pemetaan, uji akurasi dilakukan untuk mengukur tingkat kesalahan klasifikasi area contoh. Matriks kesalahan (*Confusion matrix*), juga dikenal sebagai matriks kontingensi, digunakan untuk melakukan analisis akurasi. Salah satu tingkat akurasi yang dapat dihitung adalah User's accuracy, Producer accuracy, Overall accuracy, dan Kappa accuracy. Jenis akurasi yang disebutkan di atas dapat dihitung secara matematis dapat dinyatakan (Jaya INS, 2010) sebagai berikut:

$$\text{User's Accuracy} = \frac{X_{ii}}{X_{+i}} \times 100\%$$

$$\text{Producer's Accuracy} = \frac{X_{ii}}{X_{+i}} \times 100\%$$

$$\text{Overall Accuracy} = \frac{\sum_i^r X_{ii}}{N} \times 100\%$$

Keterangan:

X_{ii} = Nilai diagonal matriks kontingensi baris ke-i dan kolom ke-i

X_{i+} = Jumlah piksel dalam baris ke-i

X_{+i} = Jumlah piksel dalam kolom ke-i

$$\text{Kappa Accuracy} = \frac{N \sum_i^r X_{ii} - \sum_i^r X_{i+} X_{+i}}{N^2 - \sum_i^r X_{i+} X_{+i}}$$

Keterangan:

N = Banyaknya piksel dalam contoh

X = Nilai diagonal dari matriks kontingensi baris ke-i dan kolom ke-i

X_{ii} = Jumlah piksel dalam baris ke-i

X_{i+} = Jumlah piksel dalam kolom ke-i

2. Biomassa Tersimpan

Perhitungan biomassa tersimpan dilakukan berdasarkan persamaan allometrik yang telah dibuat dan diuji oleh peneliti-peneliti sebelumnya digunakan untuk menghitung estimasi biomassa. Persamaan tersebut disajikan pada tabel 3.

Tabel 3 Daftar Persamaan Allometrik

No.	Kategori biomassa	Persamaan allometrik
1.	Pohon bercabang	$BK = 0,11 \cdot \rho \cdot (D^{2,62})$
2.	Pinus	$BK = 0,0417(D^{2,6576})$

Sumber:(Hairiah & Rahayu, 2007)

Keterangan:

BK = Berat Kering (kg. pohon⁻¹)

D = Dbh (cm)

ρ = Berat Jenis Kayu (g. cm⁻³)

3. Karbon Tersimpan

Nilai karbon tersimpan pada masing-masing tipe penutupan lahan dihitung dengan menggunakan faktor konversi karbon (Lasco *et al.*, 2004), yaitu :

- Karbon tersimpan di hutan primer = biomassa x 50%

- Karbon tersimpan di hutan sekunder dan mangrove = biomassa x 44,6%
- Karbon tersimpan di hutan tanaman pinus = biomassa x 45%
- Karbon tersimpan di agroforestri dan perkebunan = biomassa x 44%
- Karbon tersimpan di semak belukar, padang rumput dan alang-alang = biomassa x 42,9%

4. Menentukan *Kelas Tutupan Lahan Terhadap Kelas Stok Karbon*

Saat citra telah dipilih serta proses klasifikasi lahan telah selesai, Langkah selanjutnya adalah mengelompokkan tutupan lahan menjadi kelas homogen untuk menunjukan area hutan SKT (Stok Karbon Tinggi). Hal ini dilakukan dengan memasukkan data inventarisasi lapangan. Tujuan dari kegiatan ini yaitu untuk membedakan:

- *Hutan kerapatan rendah, menengah dan tinggi (HK1, HK2, HK3)*
- *Hutan Regenerasi Muda (HRM)*
- *Belukar (B) dan Lahan Terbuka (LT)*

Tabel berikut menunjukkan perkiraan kisaran massa karbon yang terkait dengan strata SKT.

Kelas Tutupan Lahan	Estimasi massa carbon (ton per ha)
HK3	>150
HK2	90-150
HK1	75-90
HRM	35-75
B	15-35
LT	0-15

Sumber:(Rosoman *et al.*, 2017)

5. Uji Anova

Uji Anova dilakukan untuk menentukan adanya perbedaan nyata pada estimasi karbon per kelas.

Hipotesis untuk uji Anova tersebut adalah:

H_0 = Tidak ada perbedaan rata-rata strata HK1, HK2, HK3, HRM, B, dan LT

H_1 = Ada perbedaan rata-rata strata HK1, HK2, HK3, HRM, B, dan LT

Untuk menarik kesimpulan diperlukan nilai distribusi F (nilai Ftabel)

Kriteria keputusan yaitu:

Jika $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka H_0 ditolak dan terima H_1

Jika $F_{hitung} < F_{tabel}$ maka H_0 diterima dan H_1 ditolak

Model analisisnya adalah sebagai berikut:

- Jumlah kuadrat (Jk)

$$\text{Jumlah kuadrat total (Jktot)} = \sum x_{tot}^2 - \frac{(\sum x_{tot})^2}{N}$$

$$\text{Jumlah kuadrat antara (Jkant)} = \sum \frac{(\sum x_1)^2}{n_k} - \frac{(\sum x_{tot})^2}{N}$$

$$\text{Jumlah kuadrat dalam kelompok (Jkdal)} = JK_{dal} = JK_{tot} - JK_{ant}$$

- Derajat bebas (Db)

Derajat bebas antar kelompok (Dbant) = m-1

Derajat bebas dalam kelompok (Dbdal) = N-m

Derajat bebas total (Dbtot) = N-1

Keterangan:

m = Jumlah kelompok dalam sampel

N = Jumlah seluruh anggota sampel

- Rata-rata kuadrat

$$\text{Rata-rata antar kelompok (Mkant)} = \frac{Jk_{\text{ant}}}{(m-1)}$$

$$\text{Rata-rata dalam kelompok (Mkdal)} = \frac{Jk_{\text{ant}}}{N-m}$$

- Menghitung Fhitung = $\frac{Mk_{\text{ant}}}{Mk_{\text{dal}}}$

Sumber: (Nuryadi *et al.*, 2017)

6. Uji Perbandingan Ganda Berpasangan *Scheffé*

Uji perbandingan ganda berpasangan *scheffé* diperlukan untuk menentukan grup mana yang berbeda nyata.

Model analisisnya adalah sebagai berikut:

$$F_{i-j} \frac{(x_i - x_j)^2}{Mk_{\text{dal}} \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}$$

Dengan:

F_{i-j} = Nilai Fobs pada perbandingan perlakuan ke-i dan perlakuan ke-j

X_i = Rata-rata pada sampel ke-i

X_j = Rata-rata pada sampel ke-j

Mk_{dal} = Rata-rata dalam kelompok, yang diperoleh dari perhitungan analisis variansi.

n_i = Ukuran sampel ke-i

n_j = Ukuran sampel ke-j

Daerah kritis (DK)

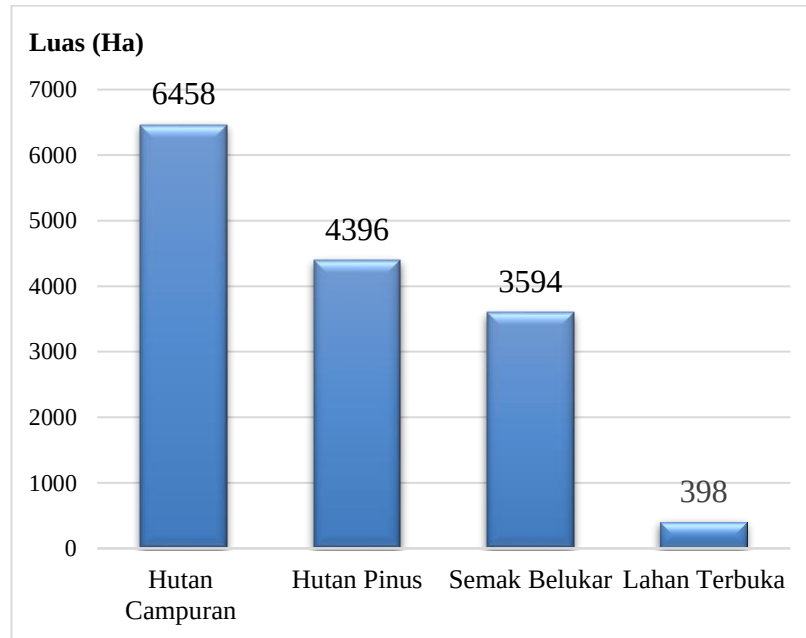
$$DK = \{F | F > (K - 1)F_{\alpha; k-1, N-k}\}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Klasifikasi Tutupan Lahan

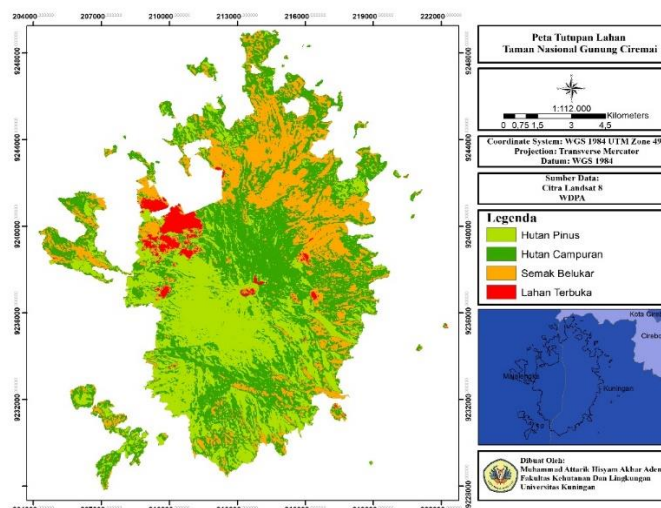
Kelas tutupan lahan di kawasan Taman Nasional Gunung Ciremai terdiri atas hutan campuran, hutan pinus, semak belukar, dan lahan terbuka. Kawasan Taman nasional Gunung Ciremai sebagian besar didominasi oleh hutan campuran ini adalah keberhasilan dalam upaya pemulihan ekosistem yang dilakukan TNGC dan suksesi alami yang berjalan dengan baik (BTNGC, 2023), hutan pinus yang tumbuh di kawasan Taman Nasional Gunung Ciremai adalah area yang pernah dikelola sebagai hutan produksi oleh Perum Perhutani (Armawan *et al.*, 2018), sedangkan pertumbuhan kaliandra berdampak

pada semak belukar yang tumbuh di sekitar Taman Nasional Gunung Ciremai (Elka, 2012) menyebutkan kaliandra adalah salah satu spesies asing yang mulai dianggap sebagai tumbuhan invasif yang dapat menghambat pertumbuhan tumbuhan endemik, lahan terbuka di kawasan TNGC adalah lahan yang tidak bervegetasi (Armawan et al., 2018).



Gambar 3. Tutupan Lahan Taman Nasional Gunung Ciremai

Grafik diatas menggambarkan grafik luasan tutupan lahan di kawasan Taman Nasional Gunung Ciremai meliputi hutan campuran 6458 ha, hutan pinus 4396 ha, semak belukar 3594 ha, dan lahan terbuka 398 ha. Peta tutupan lahan di kawasan Taman Nasional Gunung Ciremai disajikan pada gambar 6.



Gambar 4 Peta Tutupan Lahan di Kawasan Taman Nasional Gunung Ciremai

Uji akurasi hasil klasifikasi dilakukan untuk mengevaluasi tingkat akurasi peta penggunaan yang dihasilkan dari proses klasifikasi digital dengan menggunakan sampel dari hasil kegiatan lapangan. Sampel yang digunakan untuk *training area* dan sampel yang digunakan untuk uji akurasi tidak sama, tetapi diambil di tempat yang berbeda agar lebih diterima keakuratannya (Wulansari, 2017).

Metode yang digunakan untuk menghitung akurasi klasifikasi dengan menggunakan matriks kesalahan atau *confusion matrix/error matrix*. *Producer's accuracy*, *user's accuracy*, *overall accuracy*, dan indeks nilai kappa digunakan untuk menentukan tingkat akurasi. Untuk menguji akurasi, dilakukan perbandingan data referensi yang diperoleh dari hasil pengecekan lapangan (55 titik pengamatan). Karena keterbatasan akses dan jumlah waktu yang diperlukan untuk penelitian, tujuan penggunaan titik pengamatan dari citra ini adalah untuk mendapatkan informasi tentang tutupan lahan yang sulit dijangkau di lapangan. *Producer's accuracy* merupakan akurasi yang dilihat dari sudut pandang penghasil peta dan *user's accuracy* merupakan akurasi yang dilihat dari sudut pandang pengguna peta (Jaya INS, 2010).

Producer's accuracy adalah penilaian tematik, menunjukkan tingkat kebenaran hasil klasifikasi terhadap kondisi lapangan, sedangkan *user's accuracy* menunjukkan ketelitian hasil klasifikasi terhadap semua objek yang dapat diidentifikasi (Wiweka et al., 2014). Hasil uji akurasi ini menunjukkan bahwa klasifikasi tutupan lahan cukup akurat untuk dilakukan analisis lebih lanjut. Untuk hasil *kappa accuracy* dan *overall accuracy* dari setiap tutupan lahan dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5 Hasil Uji Akurasi

Jenis Tutupan Lahan	<i>Producer's accuracy</i>	<i>User's accuracy</i>	<i>Overall accuracy</i>	Kappa
Hutan	71,42%	88,23%		
Campuran				
Hutan Pinus	92,85%	76,47 %	83,6%	78,5%
Semak	93%	87,5%		
Belukar				
Lahan Terbuka	100%	80%		

Perhitungan akurasi hasil klasifikasi dilakukan pada seluruh citra. Dengan *overall accuracy* dengan nilai 83,6% dan *kappa accuracy* 78,5%, sehingga menunjukan tingkat kebenaran suatu klasifikasi yang telah memenuhi syarat ketelitian klasifikasi dari USGS (United State Geological Survey).

B. Vegetasi Di Lokasi Penelitian

Komposisi vegetasi pada hutan campuran kawasan Taman Nasional Gunung Ciremai ditumbuhi spesies tanaman berkayu. Untuk nama jenis dan jumlah tanaman yang dijumpai dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6 Jenis dan Jumlah Tanaman Pada Tutupan Lahan Hutan Campuran

Nama Jenis	Nama Ilmiah	Jumlah
Pinus	<i>Pinus merkusii</i>	87
Keruing	<i>Dipterocarpus retusus</i>	50
Medang	<i>Notaphoebe umbelliflora</i>	33
Suren	<i>Toona sureni</i>	32
Cempaka wangi	<i>Magnolia champaca</i>	32
Alpukat	<i>Persea americana</i>	23
Silver oak	<i>Grevillea robusta</i>	20
Tisuk	<i>Hibiscus tiliaceus</i>	19
Mahoni daun lebar	<i>Swietenia mahagoni</i>	18
Bangkinang	<i>Elaeocarpus glaber</i>	18
Lamtoro	<i>Leucaena leucocephala</i>	17
Puspa	<i>Schima wallichii</i>	15
Kondang	<i>Ficus variegata</i>	14
Jati putih	<i>Gmelina arborea</i>	10
Nangka	<i>Artocarpus heterophyllus</i>	10
Jengkol	<i>Archidendron jiringa</i>	9
Andam-andaman	<i>Antidesma tetrandum</i>	8
Karet kebo	<i>Ficus elastica</i>	8
Salam	<i>Syzygium polyanthum</i>	8
Cengkeh	<i>Syzygium aromaticum</i>	8
Wuni	<i>Antidesma bunius</i>	8
Saninten	<i>Castanopsis argentea</i>	7
Damar	<i>Agathis dammara</i>	6
Reueun	<i>Glochidion philippicum</i>	6
Asam kandis	<i>Garcinia xanthochymus</i>	5
Melinjo	<i>Gnetum gnemon</i>	5
Ki tamiang	<i>Celtis timorensis</i>	4
Benda	<i>Artocarpus elasticus</i>	3
Kiara payung	<i>Filicium decipiens</i>	3
Ki minyak	<i>Casearia flavovirens</i>	3
Ki huut	<i>Glochidion obscurum</i>	2
Durian	<i>Durio zibethinus</i>	2
Gempel	<i>Platea excelsa</i>	1
Solatri	<i>Callophyllum soulattri</i>	1
Rasamala	<i>Altingia excelsa</i>	1

Komposisi vegetasi pada tutupan lahan semak belukar di kawasan Taman Nasional Gunung Ciremai didominasi oleh rumput, tumbuhan bawah, ilalang, kaliandra. Walaupun didominasi oleh semak belukar, rumput, ilalang, dan juga kaliandra terdapat

beberapa tumbuhan yang dijumpai pada tutupan lahan semak belukar seperti yang tersaji pada tabel 7.

Tabel 7 Jenis dan Jumlah Tanaman Pada Tutupan Lahan Semak Belukar

Nama Jenis	Nama Ilmiah	Jumlah
Puspa	<i>Schima wallichii</i>	48
Cengkeh	<i>Syzygium aromaticum</i>	28
Salam	<i>Syzygium polyanthum</i>	16
Pinus	<i>Pinus merkusii</i>	10
Manglid	<i>Manglietia glauca</i>	10
Tisuk	<i>Hibiscus tiliaceus</i>	9
Suren	<i>Toona sureni</i>	9
Medang	<i>Notaphoebe umbelliflora</i>	8
Jati putih	<i>Gmelina arborea</i>	6
Nangka	<i>Artocarpus heterophyllus</i>	5
Wuni	<i>Antidesma bunius</i>	5
Beringin	<i>Ficus benamina</i>	4
Mangga	<i>Mangifera indica</i>	4
Andam-andaman	<i>Antidesma tetrandrum</i>	3
Kelor	<i>Moringa oleifera</i>	3
Mahoni daun kecil	<i>Swietenia macrophylla</i>	3
Alpukat	<i>Persea americana</i>	2
Jamuju	<i>Dacrycarpus imbricatus</i>	2
Mahoni daun lebar	<i>Swietenia mahagoni</i>	2
Hantap	<i>Sterculia oblongata</i>	2
Sukun	<i>Artocarpus altilis</i>	1
Saninten	<i>Castanopsis argentea</i>	1

C. Biomassa dan Cadangan Karbon Tersimpan Pada Berbagai Tipe Tutupan Lahan

Pada berbagai tipe tutupan lahan yang berada pada kawasan Taman Nasional Gunung Ciremai memiliki total biomassa tersimpan sebesar 80,38-1.538,58 ton/ha dan cadangan karbon tersimpan sebesar 34,48-769,293 ton/ha. Total biomassa dan cadangan karbon tertinggi diperoleh tutupan lahan hutan campuran dengan biomassa tersimpan sebesar 1.538,58 ton/ha dan cadangan karbon tersimpan sebesar 769,293 ton/ha. Untuk tutupan lahan hutan pinus total biomassa tersimpan sebesar 1.126,08 ton/ha dan total cadangan karbon sebesar 506,73 ton/ha sedangkan total cadangan biomassa dan karbon terendah diperoleh tutupan lahan semak belukar dengan total cadangan biomassa sebesar 80,38 ton/ha dan karbon tersimpan sebesar 34,48 ton/ha. Hasil perhitungan biomassa dan cadangan karbon tersimpan tersaji dalam tabel 8.

Tabel 8 Biomassa dan Cadangan Karbon Tersimpan Pada Berbagai Tipe Tutupan Lahan

No	Tipe Tutupan Lahan	Biomassa Tersimpan (ton/ha)	Karbon Tersimpan (ton/ha)
1	Hutan Campuran	1.538,58	769,293
2	Hutan Pinus	1.126,08	506,73
3	Semak Belukar	80,38	34,48

Dalam penelitian (Prasetyo, 2010) menyebutkan biomassa tersimpan di Tambling *Wildlfe Nature Conservation* Taman Nasional Bukit Barisan Selatan sebesar 356,88 ton/ha. Hutan campuran di kawasan TNGC memiliki biomassa tersimpan sebesar 1.538,58 ton/ha. Jika dibandingkan biomassa tersimpan di Tambling *Wildlfe Nature Conservation* Taman Nasional Bukit Barisan Selatan dan hutan campuran Taman Nasional Gunung Ciremai maka hutan campuran TNGC memiliki biomassa tersimpan lebih besar. Pada hutan pinus Desa Pesse Kecamatan Donri Kabupaten Soppeng (Sultan et al., 2020) memiliki biomassa tersimpan sebesar 658 ton/ha. Hasil perhitungan biomassa tersimpan pada hutan pinus TNGC sebesar 1.126,08 ton/ha, hal ini menunjukkan bahwa hutan pinus di wilayah TNGC memiliki biomassa tersimpan lebih tinggi dibandingkan hutan pinus Desa Pesse Kecamatan Donri Kabupaten Soppeng. Azham (2015) dalam penelitiannya pada tutupan lahan hutan sekunder, semak dan belukar di kota Samarinda Provinsi Kalimantan Timur menerangkan bahwa tutupan lahan semak memiliki biomassa tersimpan sebesar 56,306 ton/ha. Biomassa tersimpan pada tutupan lahan semak belukar di kawasan TNGC sebesar 80,38 ton/ha. Hasil perhitungan biomassa tersimpan tutupan lahan semak belukar di kawasan TNGC lebih tinggi dibandingkan dengan hasil perhitungan biomassa tutupan lahan semak di kota Samarinda Provinsi Kalimantan Timur. Dapat disimpulkan terdapat perbedaan jumlah biomassa pada setiap lokasi, faktor genetik, lokasi, kondisi tanah, kerapatan tegakan, dan praktik pengelolaan yang diterapkan kedua belah pihak adalah beberapa faktor yang dapat mempengaruhi perbedaan tersebut (Nurfansyah et al., 2019).

Berdasarkan tabel 8 diatas menunjukkan bahwa hutan campuran TNGC memiliki karbon tersimpan sebesar 769,293 ton/ha. Paradika *et al.* (2021) dalam penelitiannya menyebutkan cadangan karbon tersimpan di kawasan hutan dengan tujuan khusus (khdtk) Universitas Lambung Mangkurat karbon tersimpan sebesar 203,72 ton/ha. Jika dibandingkan cadangan karbon hutan dengan tujuan khusus (khdtk) Universitas Lambung Mangkurat dan hutan campuran di kawasan TNGC maka hutan campuran TNGC memiliki total cadangan karbon lebih besar. (Selviana, 2012) dalam penelitiannya menyebutkan cadangan karbon tersimpan di hutan pendidikan Gunung Walat dengan karbon tersimpan 281,87 ton/ha. Hasil perhitungan cadangan karbon pada hutan pinus TNGC sebesar 506,72 ton/ha, hal ini menunjukkan bahwa hutan pinus di kawasan TNGC memiliki cadangan karbon tersimpan lebih besar dibandingkan dengan cadangan karbon tersimpan di hutan pendidikan Gunung Walat. Siswoyo (2022) dalam penelitiannya di PT. Paramitha Internusa Pratama, Kabupaten Kapuas Hulu, Provinsi Kalimantan Barat menerangkan bahwa tutupan lahan semak belukar memiliki cadangan karbon tersimpan

sebesar 30,36 ton/ha. Total cadangan karbon pada tutupan lahan semak belukar di kawasan TNGC sebesar 34,48 ton/ha. Jika dibandingkan cadangan karbon tersimpan pada tutupan lahan semak belukar di PT. Paramitha Internusa Pratama, Kabupaten Kapuas Hulu, Provinsi Kalimantan Barat lebih kecil dibandingkan cadangan karbon tersimpan pada tutupan lahan semak belukar di kawasan TNGC. Dapat disimpulkan terdapat perbedaan jumlah karbon pada setiap lokasi, hal ini disebabkan oleh perbedaan jumlah pohon dan diameternya pada masing-masing lokasi penelitian. Selain itu, tidak menutup kemungkinan bahwa kerapatan pohon berbeda karena penyakit atau serangan hama (Saharjo & Wardhana, 2011). Hairiah & Rahayu (2007) menyatakan bahwa jumlah cadangan karbon yang berbeda di setiap lokasi penelitian disebabkan oleh kerapatan tumbuhan yang berbeda. Jenis vegetasi dalam sistem penggunaan lahan memengaruhi cadangan karbon. Sistem penggunaan lahan dengan spesies pohon dengan nilai kerapatan kayu tinggi akan memiliki biomassa yang lebih tinggi daripada sistem penggunaan lahan dengan spesies pohon dengan nilai kerapatan kayu rendah, besar biomassa hutan menentukan tingkat serapan karbonnya. Sejalan dengan pendapat Ariani *et al.*, (2014) semakin besar diameter tumbuhan maka semakin besar kandungan karbon dalam tumbuhan tersebut, begitu pula dengan berat jenis. Semakin besar berat jenis tumbuhan maka semakin besar kandungan karbon dalam tumbuhan tersebut. Jumlah biomassa yang diproduksi oleh hutan menentukan kapasitasnya untuk penyerapan karbon. Namun, laju produksi biomassa dapat menunjukkan kemampuan hutan untuk menyerap CO₂ atmosfer dan mengurangi perubahan iklim dalam jangka waktu tertentu. Biomassa hutan atau tegakan menunjukkan jumlah karbon yang diserap selama waktu hidupnya (Costa & Suranga, 2012).

D. Kelas Stok Karbon Tinggi Kawasan Taman Nasional Gunung Ciremai

Berdasarkan hasil perhitungan cadangan karbon pada setiap tutupan lahan di kawasan Taman Nasional Gunung Ciremai didapatkan hasil pendugaan di setiap tutupan lahan yaitu sebagai berikut, untuk tutupan lahan hutan campuran memiliki cadangan karbon sebesar 769,93 ton/ha, hutan pinus memiliki cadangan sebesar karbon 506,73 ton/ha dan semak belukar memiliki cadangan karbon sebesar 34,48 ton/ha. Menurut (Rosoman *et al.*, 2017) jika tutupan lahan memiliki cadangan karbon lebih dari 150 ton/ha maka tutupan lahan tersebut termasuk kedalam kelas stok karbon HK3 (hutan kerapatan tinggi), untuk tutupan lahan yang memiliki cadangan karbon 15-35 ton/ha maka tutupan lahan tersebut termasuk ke dalam kelas stok karbon B (belukar). Tutupan lahan hutan campuran dan hutan pinus yang berada pada kawasan Taman Nasional gunung Ciremai termasuk ke dalam kelas stok karbon HK3 (hutan kerapatan tinggi) dikarenakan memiliki cadangan karbon lebih dari 150 ton/ha sedangkan tutupan lahan semak belukar yang berada pada kawasan Taman Nasional Gunung Ciremai termasuk kedalam kelas stok karbon B (belukar) karena memiliki cadangan karbon 34,48 ton/ha.

Berdasarkan hasil analisis statistik cadangan karbon di kawasan Taman Nasional Gunung Ciremai menunjukkan bahwa besaran Fhitung (15,08) > Ftabel (2,74), yang menyatakan bahwa terdapat perbedaan nyata untuk nilai cadangan karbon pada tutupan lahan HK3 dan B di kawasan Taman Nasional Gunung Ciremai. Dikarenakan hanya

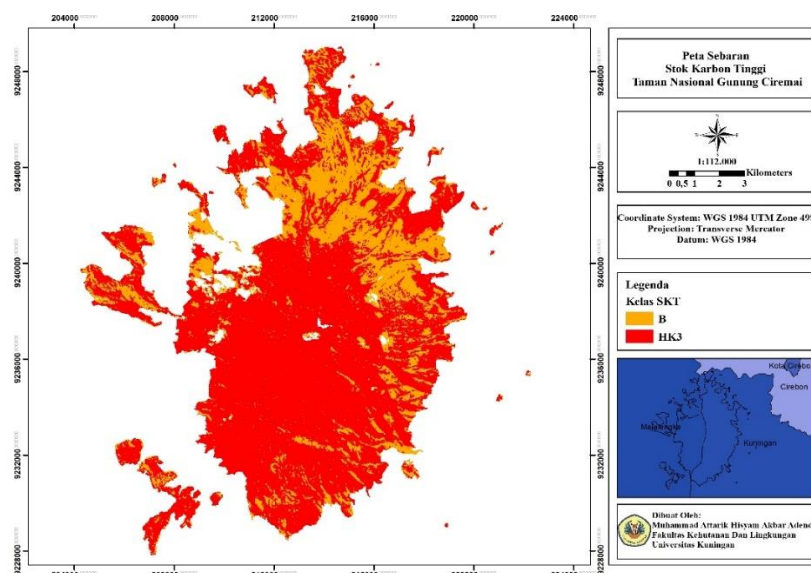
terdapat dua kelas SKT (Stok Karbon Tinggi) yaitu, HK3 (hutan kerapatan tinggi) dan B (belukar), maka tidak dilakukan uji lanjut menggunakan uji *Scheffé*.

Hasil analisis statistik cadangan karbon di kawasan Taman Nasional Gunung Ciremai disajikan pada tabel 9.

Tabel 9 Hasil Analisis Statistik Cadangan Karbon

Tutupan Lahan	Jumlah	Standar deviasi	Sum	Mean	Variance	Fhitung	Ftabel	Standar error	Lower	Upper
HK3	100	49,7	1276	12,76	480,60	15,08	2,74	1,79	9,78	15,74
B	50	19,82	34,5	0,69	1,67			2,54	-3,56	4,94

Kelas SKT (Stok Karbon Tinggi) yang berada di kawasan Taman Nasional Gunung Ciremai divisualisasikan menjadi peta sebaran seperti yang dapat dilihat pada gambar 10. Dimana tutupan lahan hutan campuran dan hutan pinus termasuk kedalam kelas SKT HK3 sedangkan tutupan lahan semak belukar termasuk kedalam kelas SKT B.



Gambar 5. Peta Stok Karbon Tinggi Di Kawasan Taman Nasional Gunung Ciremai

SIMPULAN

Cadangan biomassa pada masing-masing tipe tutupan lahan adalah sebagai berikut, tipe tutupan lahan hutan campuran memiliki biomassa tersimpan sebesar 1.538,58 ton/ha, tutupan lahan hutan pinus memiliki biomassa tersimpan sebesar 1.126,08 ton/ha dan tutupan lahan semak belukar memiliki biomassa tersimpan sebesar 80,38 ton/ha.

Cadangan karbon pada masing-masing tipe tutupan lahan adalah sebagai berikut tipe tutupan lahan hutan campuran memiliki karbon tersimpan sebesar 769,293 ton/ha, tipe tutupan lahan hutan pinus memiliki karbon tersimpan sebesar 506,73 ton/ha dan

tutupan lahan semak belukar memiliki karbon tersimpan 34,48 ton/ha. Kelas SKT (Stok Karbon Tinggi) di kawasan Taman Nasional Gunung Ciremai dibagi menjadi dua kelas yaitu, HK3 dan B.

SARAN

Perhitungan cadangan biomassa dan karbon dalam penelitian ini hanya mengambil sampel tingkat pertumbuhan tiang dan pohon, perlu adanya penelitian lanjutan mengenai perhitungan cadangan biomassa dan karbon pada tingkat tumbuhan bawah di berbagai tipe tutupan lahan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Taman Nasional Gunung Ciremai yang telah memberikan izin lokasi penelitian. Selanjutnya kepada Sivitas Akademika Fakultas Kehutanan Universitas Kuningan yang telah memberikan bimbingannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adinugroho, W. C., Indrawan, A., Supriyanto, & Arifin, H. S. (2018). Kontribusi sistem agroforestri terhadap cadangan karbon di Hulu Das Kali Bekasi. *Hutan Tropis*, 1(3), 242–249.
- Agus, R.D., Puspaningsih, N, & Saleh, M. B. (2018). Metode Multi Layer Perceptron dan Logistic Regression di Taman Nasional Gunung Ciremai (*Study of Land Cover Change using Multi Layer Perceptron and Logistic Regression Methods in Gunung Ciremai National Park*).
- Andi Khairil A. Samsu. (2019). Pendugaan Potensi Simpanan Karbon Permukaan Pada Ruang Terbuka Hijau di Hutan Kota Jompie Kecamatan Soreang Kota Pare-pare. *Jurnal Envisoil* Vol. 1 No.1 September 2019.
- Ariani, Sudhartono, A., & Wahid, A. (2014). Warta Rimba Biomassa Dan Karbon Tumbuhan Bawah Sekitar Danau Tambing Pada Kawasan Taman Nasional Lore Lindu. *Warta Rimba*, 2(1), 164–170.
- Azham, Z. (2015). Estimasi Cadangan Karbon Pada Tutupan Lahan Hutan Sekunder , Semak dan Belukar di Kota Samarinda jumlah cadanga. XIV, 325–338.
- BTNGC. (2023). Retrieved from BTNGC:
- Chandra, S. M., Septiadi, A., Agus, P., & Saputra, D. (2011). Teknik Pendugaan Cadangan Karbon Hutan. www.merang-redd.org
- Costa, W. A. J. M. De, & Suranga, H. R. (2012). *Estimation of carbon stocks in the forest plantations of Sri Lanka* . 40(March 2009), 9–41.
- Elka, M. (2012). Analisis Distribusi Spesies Invasif Kaliandra (*Calliandra calothyrsus* Meissn.) di Taman Hutan Raya Bung Hatta Sumatera Barat.
- Fajarwati, N. ,. (2017). Evaluasi Potensi Wisata Taman Nasional Gunung Ciremai (TNGC) Untuk Ekowisata di Kecamatan Argapura Kabupaten Majalengka.
- Farmen, H., Panjaitan, P. B., & Rusli, A. R. (2014). Pendugaan cadangan karbon di atas permukaan tanah areal Kampus Universitas Nusa Bangsa. *Journal Nusa Sylva*,

- 14(1), 10–19.
- Forestriko, H. F. (2016). Pemanfaatan Citra Landsat 8 Untuk Estimasi Stok Karbon Hutan Mangrove Di Kawasan Segara Anakan Cilacap Jawa Tengah. *Jurnal Bumi Indonesia*, 5(1), 1–10.
- Ginting, T. T., & Prayogo, C. (2018). Estimation of Carbon Stock of Teak Forest (*Tectona grandis* Linn. F) Using Various Allometric Equations on Various Age Classes of Teak. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 5(2), 1019–1026. <http://jtsl.ub.ac.id>
- Hairiah, K., & Rahayu, S. (2007). Pengukuran “Karbon Tersimpan” di Berbagai Macam Penggunaan Lahan. *World Agroforestry Centre*, 77.
- Iskandar, Y., Hendrayana, Y., Karyaningsih, I., & Artikel, R. J. (2020). Pendugaan Karbon Tumbuhan Bawah di Tegakan Pinus Bumi Perkemahan Pasirbatang Taman Nasional Gunung Ciremai. *Jurnal Ilmiah Biologi Unsoed*, 2(3), 376–381.
- Jaya INS. (2010). Analisis Citra Digital: Perspektif Penginderaan Jauh untuk Pengelolaan Sumberdaya Alam. *Bogor (ID): Fakultas Kehutanan IPB*.
- Khotimah, K., Sudiana, E., & Pratiknya, H. (2022). Dampak Perubahan Iklim Terhadap Fenologi *Phaseolus vulgaris* L Faklutas Biologi Universitas Jenderal Soedirman. *Bioma : Berkala Ilmiah Biologi*, 24(1), 1–7. <https://doi.org/10.14710/bioma.24.1.1-7>
- Langi, Y. (2011). Model pendugaan biomasa dan karbon pada tegakan Hutan Rakyat Cempaka (*Elmerrilli ovalis*) dan Wasian (*Ermerrilla celebica* di Kabupaten Minahasa, Sulawesi Utara. Institut Pertanian Bogor
- Lasco RD, Pulhin FB, Roshetko JM, B. M. (2004). *Lulucf Climate Change Mitigation Projects In The Philipphinnes : A PRIMER R.D. Lasco, F.B. Pulhin, J. Roshetko and M.R.N. Banaticla*. 1–43.
- Locatelli Bruno Kanninen Markku Brockhaus Maria Carol J. Colfer Pierce Murdiyarso Daniel Santoso Heru. (2008). Embracing an uncertain future. In *Nature Geoscience* (Vol. 11, Issue 7). <https://doi.org/10.1038/s41561-018-0130-8>
- Lusiana B, Noordwijk MV, R. S. (2016). *Carbon stocks in Nunukan, East Kalimantan: a spatial monitoring and modelling approach* (Issue April). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2866.4722>
- Maryadi, A., & Linda, R. (2019). Dan Cadangan Karbon di Beberapa Taman Waktu dan Tempat. 8, 73–80.
- Ministry of Environment, I. R. (2010). *Indonesia second national communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Summary for policy makers*. 200.
- Nadine, B. (2021, August 17). *ICDX Group*. Retrieved from [ICDX.co.id: https://www.icdx.co.id](https://www.icdx.co.id)
- Nurfansyah, E., Hendrayana, Y., & Adhya, I. (2019). Potensi Karbon Tersimpan Pada Tegakan Pinus (*Pinus Merkusii*) Di Blok Pasir Batang Kawasan Taman Nasional Gunung Ciremai. *Wanaraksa*, 13(1). <https://journal.uniku.ac.id/index.php/wanaraksa/article/view/4649>
- Nuryadi, Astuti, T. D., Utami, E. S., & Budiantara, M. (2017). Buku Ajar Dasar-dasar

- Statistik Penelitian. In *Sibuku Media*.
- Paradika, G. Y., Kissinger, K., & Rezekiah, A. A. (2021). Pendugaan Cadangan Karbon Vegetasi Di Sempadan Sungai Pada Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (Khdtk) Universitas Lambung Mangkurat. *Jurnal Sylva Scientiae*, 4(1), 98. <https://doi.org/10.20527/jss.v4i1.3098>
- Prasetyo, A. (2010). Pendugaan Perubahan Cadangan Karbon Di Tambling Wildlife Nature Conservation Taman Nasional Bukit Barisan Selatan. 7(2), 1–7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2011.03.004> <http://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.2010.01.004> <http://www.biomedcentral.com/1471-2156/12/42> <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.11.005> <http://www.sciencemag.org/content/323/5911/240>.
- Putra, M. P., Edwin, M., Tinggi, S., Kutai, P., Kehutanan, P. S., Tinggi, S., Kutai, P., & Timur, K. K. (2022). Pendugaan cadangan karbon atas permukaan menggunakan citra satelit di areal ijin industri metanol Kecamatan Bengalon. 10(2), 161–170.
- Reay, D., Sabine, C., Smith, P., & Hymus, G. (2007). Intergovernmental Panel on Climate Change. Fourth Assessment Report. Geneva, Switzerland: Inter-governmental Panel on Climate Change. Cambridge; UK: Cambridge University Press; 2007. Available from: www.ipcc.ch. In *Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://doi.org/10.1038/446727a>
- RM Sampurno, A. T. (2016). Klasifikasi Tutupan Lahan Menggunakan Citra Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) Di Kabupaten Sumedang. *Analytical Biochemistry*, 11(1), 1–5. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-59379-1> <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-420070-8.00002> <http://dx.doi.org/10.1016/j.ab.2015.03.024> <https://doi.org/10.1080/0735-2689.2018.1441103> <http://www.chile.bmwmotorrad.cl/sync/showroom/lam/es>
- Rosoman, G., Sheun, S.S., Opal, C., Anderson, P., dan Trapshah, R., E. (2017). Toolkit Pendekatan SKT: Stratifikasi hutan dan vegetasi. *Modul 4*.
- Saharjo, B. H., & Wardhana, H. F. P. (2011). Pendugaan Potensi Serapan Karbon Pada Tegakan Pinus Di KPH Cianjur Perum Perhutani Unit III Jawa Barat dan Banten. *Silvikultur Tropika*, 03(01), 96–100.
- Saputri, S. dwi. (2017). Pengaruh Model Pembelajaran Example Non Example Berbantuan Poster Comment Terhadap Pemahaman Konsep Matematis Siswa Kelas VII MTS AL-Hidayah Sri Kuncoro Tanggamus.
- Sastha, H. B., & Kuswandono. (2018). Menggapai Puncak Gunung Ciremai Atap Tertinggi Jawa Barat. Kuningan
- Selviana, V. (2012). Pendugaan Potensi Volume, Biommasa, dan Cadangan Karbon Tegakan Di Hutan Pendidikan Gunung Walat Sukabumi Jawa Barat.
- Siswoyo (2022). Penilaian Stok Karbon Tinggi (SKT) Di Areal Plasma PT. Paramitra Internusa Pratama Kabupaten Kapuas Hulu, Provinsi Kalimantan Barat.
- Smart, P. T. (2017). *High Carbon Stock (HCS) Assessment PT Mitrakarya Agroindo (PT MKA) Central Kalimantan Prepared for : October 2017. October*.
- Sultan, S., Hasanuddin, H., Latifah, H., & Awal, N. (2020). Nilai Serapan Karbon Hutan

- Pinus Di Desa Pesse Kecamatan Donri – Donri Kabupaten Soppeng. Jurnal Penelitian Kehutanan BONITA, 2(1), 32. <https://doi.org/10.55285/bonita.v2i1.433>
- Sutaryo, D. (2009). Penghitungan Biomassa: Sebuah pengantar untuk studi karbon dan perdagangan karbon. 1–38.
- Wijaya, N. (2015). Deteksi Perubahan Penggunaan Lahan Dengan Citra Landsat Dan Sistem Informasi Geografis: Studi Kasus Di Wilayah Metropolitan Bandung, Indonesia. *Geoplanning: Journal of Geomatics and Planning*, 2(2), 82–92. <https://doi.org/10.14710/geoplanning.2.2.82-92>
- Wiweka et al. (2014). Uji Akurasi Training Sample Untuk Klasifikasi Terawasi Data Penginderaan Jauh Resolusi Menengah.
- Wulansari, H. (2017). Uji Akurasi Klasifikasi Penggunaan Lahan dengan Menggunakan Metode Defuzzifikasi Maximum Likelihood Berbasis Citra Alos Avnir-2. *BHUMI: Jurnal Agraria Dan Pertanahan*, 3(1), 98. <https://doi.org/10.31292/jb.v3i1.96>
- Yuly. (2008). Prospek Pengelolaan Agroforestry Untuk Tujuan Perdagangan Karbon di Desa Karacak Kecamatan Leuwiliang Kabupaten Bogor.
- Zaini Miftach. (2018). *Definisi Biomassa*. 53–54.