

KORELASI CADANGAN KARBON TERHADAP KERAPATAN VEGETASI BERDASARKAN NDVI DI ZONA REHABILITASI TAMAN NASIONAL GUNUNG HALIMUN SALAK

Correlation of Carbon Reserves to Vegetation Density Based on NDVI in the Rehabilitation Zone Mount Halimun Salak National Park

Istomo^{1*}, Adisti Permatasari Putri Hartoyo², Muhammad Ramdhani Fitriansyah³

(Diterima 3 januari 2025/Disetujui 25 Februari 2025)

ABSTRACT

*Increasing greenhouse gas concentrations and carbon emissions contribute greatly to global climate change. Gunung Halimun Salak National Park (GHSNP) is a conservation area with the potential to reduce the impact of climate change through increasing carbon reserves. This research aimed to analyze the vegetation density and diversity, estimate the potential for biomass and carbon reserves and analyze the relationship between NDVI values and number of species, tree density, vegetation diversity, basal area (LBDS), and carbon concentration. The method used was vegetation analysis, while carbon estimation used an allometric for stake, pole and tree levels. Destructive approach for the seedling and understory levels. The plots that were built were 14 plots measuring 50 m × 50 m. Based on the results of NDVI analysis, density classes are divided into class 1 (0,321–0,485), and class 2 (0,485–0,746). The vegetation composition in the TNGHS rehabilitation zone consists of 103 plant species and is dominated by rasamala (*Altingia excelsa*). The average biomass and carbon concentration based on density class obtained were 296,55 tonnes/ha and 139,38 tonnes/ha respectively. Carbon concentration has a strong correlation with LBDS ($r = 95,5\%$). NDVI values correlate higher with tree density per hectare variable than other variables.*

Keywords: biomass, carbon emissions, climate change, vegetation diversity

ABSTRAK

Kenaikan konsentrasi Gas Rumah Kaca (GRK) dan emisi karbon merupakan faktor yang berkontribusi besar terhadap perubahan iklim global. Taman Nasional Gunung Halimun Salak (TNGHS) merupakan salah satu kawasan konservasi yang berpotensi dalam mengurangi dampak perubahan iklim melalui peningkatan cadangan karbon. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kerapatan dan tingkat keanekaragaman vegetasi, menduga potensi biomassa dan cadangan karbon tersimpan di atas permukaan tanah, serta menganalisis hubungan antara nilai NDVI dengan jumlah jenis, kerapatan pohon, keanekaragaman vegetasi, luas bidang dasar (LBDS), dan konsentrasi karbon. Metode yang digunakan analisis vegetasi, sedangkan pendugaan karbon menggunakan pendekatan alometrik dan destruktif untuk tingkat semai dan tumbuhan bawah. Plot yang dibangun berukuran 50 m × 50 m sebanyak 14 plot. Berdasarkan hasil analisis NDVI, kelas kerapatan terbagi menjadi kelas 1 (0,321–0,485), dan kelas 2 (0,485–0,746). Komposisi vegetasi di zona rehabilitasi TNGHS terdiri atas 103 jenis tumbuhan dan didominasi oleh rasamala (*Altingia excelsa*). Rata-rata biomassa dan konsentrasi karbon berdasarkan kelas kerapatan yang diperoleh masing-masing sebesar 296,55 ton/ha dan 139,38 ton/ha. Konsentrasi karbon memiliki korelasi kuat dengan LBDS ($r = 95,5\%$). Nilai NDVI berkorelasi paling tinggi dengan kerapatan pohon per hektar.

Kata kunci: biomassa, emisi karbon, keanekaragaman vegetasi, perubahan iklim

¹ Departemen Silvikultur Fakultas Kehutanan dan Lingkungan IPB University

* Penulis korespondensi:

e-mail: istomo19@gmail.com

² Departemen Silvikultur Fakultas Kehutanan dan Lingkungan IPB University

³ Alumni Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, IPB University

PENDAHULUAN

Perubahan iklim dan pemanasan global (*global warming*) merupakan salah satu isu lingkungan terkait kehutanan yang sedang menjadi perhatian dunia. Kenaikan konsentrasi Gas Rumah Kaca (GRK) dan emisi karbon merupakan faktor yang berkontribusi besar terhadap perubahan iklim global. GRK adalah gas-gas di atmosfer yang memiliki kemampuan untuk dapat menyerap radiasi matahari yang dipantulkan oleh bumi, sehingga menyebabkan suhu di permukaan bumi menjadi hangat (Azham 2015).

Sektor kehutanan dan lahan merupakan salah satu sektor penting dalam strategi jangka panjang pembangunan rendah karbon dan ketahanan iklim. Hutan memiliki peranan penting karena dapat menjadi sumber emisi karbon (*source*) sekaligus dapat menjadi penyerap dan tempat penyimpanan karbon (*sink*). *FOLU Net Sink* 2030 merupakan target strategis Indonesia dengan tingkatan serapan karbon sama dengan atau lebih tinggi dari tingkat emisi (Mosa *et al.* 2024).

Taman Nasional Gunung Halimun Salak (TNGHS) merupakan salah satu kawasan konservasi yang berpotensi dalam mengurangi dampak perubahan iklim melalui peningkatan cadangan karbon. TNGHS menjadi kawasan pelestarian alam paling luas di Pulau Jawa dengan keanekaragaman hayati yang sangat tinggi (Sahab *et al.* 2015). Pemantauan kanopi hutan dan kerapatan vegetasi dapat dilakukan melalui penginderaan jauh menggunakan pendekatan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) (Hanan *et al.* 2020). Indeks vegetasi atau NDVI adalah indeks yang menggambarkan tingkat kehijauan suatu tanaman melalui pantulan spektral hijau daun sebagai indikator keberadaan vegetasi maupun kualitas hutan (Hartoyo *et al.* 2021).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kerapatan dan tingkat keanekaragaman vegetasi di zona rehabilitasi TNGHS, menduga potensi biomassa dan cadangan karbon tersimpan di atas permukaan tanah, serta menganalisis hubungan antara nilai NDVI dengan jumlah jenis, kerapatan pohon, keanekaragaman vegetasi, luas bidang dasar (LBDS), dan konsentrasi karbon di zona rehabilitasi Resort Gunung Kendeng TNGHS.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan data dan informasi bagi pihak TNGHS mengenai kerapatan vegetasi, keanekaragaman jenis, dan cadangan karbon di zona rehabilitasi TNGHS sehingga dapat digunakan sebagai pedoman bagi pengelola dalam upaya pengelolaan hutan maupun data dasar bagi para peneliti.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli 2023 sampai dengan bulan Desember 2023. Lokasi penelitian berada di Zona rehabilitasi Resort Gunung Kendeng TNGHS Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *Global Positioning System* (GPS), kompas, meteran, pita ukur, *Phiband*, golok, alat tulis, *haga hypsometer*, kamera, *tally sheet*, *trash bag*, plastik *ziplock*, timbangan digital, oven, amplop coklat, *software Microsoft Office Word*, *software Microsoft Office Excel*, *software ArcMap 10.8*, *software SPSS*, dan aplikasi *Avenza*. Obyek yang digunakan meliputi vegetasi di zona rehabilitasi Resort Gunung Kendeng, TNGHS.

Prosedur Penelitian

Pembuatan Peta Klasifikasi Kerapatan Vegetasi Menggunakan NDVI

Pembuatan peta kerapatan vegetasi berdasarkan NDVI Citra satelit yang digunakan yaitu *Sentinel-2* yang diunduh pada tanggal 2 Juni 2023 dari www.copernicus.eu. Tahapan analisis NDVI dimulai dengan pengumpulan citra satelit dan pembuatan peta NDVI dengan menggunakan *software ArcMap 10.8*. Hasil analisis NDVI kemudian diklasifikasikan dalam 4 kelas kerapatan vegetasi menggunakan metode klasifikasi *Natural Breaks* (Jenks).

Pembuatan plot contoh

Analisis vegetasi dilakukan menggunakan metode *stratified random sampling*. Jumlah plot yang digunakan sebanyak 7 plot contoh pada setiap kelas kerapatan. Plot berukuran 50 m × 50 m digunakan untuk merisalah pohon. Subplot berukuran 25 m × 25 m digunakan untuk merisalah tiang, 12,5 m × 12,5 m untuk merisalah pancang, dan 6 m × 6 m untuk merisalah semai serta tumbuhan bawah.

Pengukuran Komposisi Jenis dan Struktur Tegakan Pohon

Pengukuran komposisi jenis dan struktur tegakan dengan analisis vegetasi dimulai dari analisis semai dan tumbuhan bawah, pancang, tiang, serta pohon. Pengukuran *Diameter at Breast Height* (SBH), Tinggi Total (TT), Tinggi Bebas Cabang (TBC) dihitung pada setiap individu pancang, tiang dan pohon, sedangkan pada tingkat semai dan tumbuhan bawah hanya nama jenis dan jumlah individu.

Pengukuran Biomassa dan Cadangan Karbon di Atas Permukaan Tanah

Pengukuran biomassa pohon dilakukan menggunakan metode *non destructive* (tanpa merusak bagian tumbuhan) pada tingkat pancang, tiang, dan pohon, sedangkan untuk tumbuhan bawah dan semai, pengukurannya dilakukan dengan metode *destructive*. Tumbuhan bawah dan semai pada subplot 2 m × 2 m yang diambil tanpa bagian akar lalu dihitung berat basah total (BBt). Sampel ditimbang 200–300 gram (BBc) untuk dioven pada suhu 800°C selama 48 jam (BSN 2019).

Pengolahan dan Analisis Data

Indeks Nilai Penting

Indeks Nilai Penting (INP) digunakan untuk mengurutkan jenis berdasarkan kepentingan ekologinya, untuk mengetahui jenis dominan di setiap tingkat pertumbuhan digunakan metode INP. Menurut Kusmana

et al. (2022) INP dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned}
 K &= \frac{\sum \text{Individu suatu jenis}}{\text{Luas plot contoh}} \\
 KR &= \frac{\text{Kerapatan suatu jenis}}{\text{Kerapatan seluruh jenis}} \times 100\% \\
 F &= \frac{\sum \text{Plot ditemukan suatu jenis}}{\sum \text{Seluruh plot contoh}} \\
 FR &= \frac{\text{Frekuensi suatu jenis}}{\text{Frekuensi seluruh jenis}} \times 100\% \\
 D &= \frac{\sum \text{LBDS suatu jenis}}{\text{Luas plot contoh}} \\
 DR &= \frac{\text{Dominansi suatu jenis}}{\text{Dominansi seluruh jenis}} \times 100\% \\
 \text{INP (\%)} &= KR + FR + DR \text{ (tiang dan pohon)} \\
 \text{INP (\%)} &= KR + FR \text{ (tumbuhan bawah, semai, dan pancang)}
 \end{aligned}$$

Indeks Keanekaragaman Jenis (H'), Dominansi Jenis (C), Kekayaan Jenis (R), dan Kemerataan (E)

Perhitungan nilai H' mengacu pada Ludwig dan Reynold (1988). Perhitungan R mengacu pada Margalef (1972). Indeks dominansi jenis (C) mengacu pada Simpson (1949). Perhitungan indeks kemerataan jenis mengacu pada Maguran (2004).

Pengukuran Biomassa Tegakan

Perhitungan biomassa tingkat pancang, tiang, dan pohon menggunakan persamaan allometrik mengacu pada Chave *et al.* (2005) dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{AGB} = \rho \times \exp(-1,499 + 2,148 \ln(D) + 0,207(\ln(D))^2 - 0,0281(\ln(D))^3)$$

Perhitungan Biomassa Tumbuhan Bawah dan Semai

Perhitungan biomassa tumbuhan bawah dan semai mengacu pada BSN (2019) dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{BKtotal} = \frac{\text{BKcontoh}}{\text{BBcontoh}} \times \text{BBtotal}$$

Keterangan:

BK = Berat Kering (kg)

BB = Berat Basah (kg)

Pendugaan Cadangan Karbon

Perhitungan Cadangan karbon mengacu pada IPCC (2016) dengan rumus sebagai berikut:

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

Keterangan:

C = Karbon tersimpan (ton/ha)

B = Biomassa (ton/ha)

Uji Asumsi Klasik

Pengujian asumsi klasik dilakukan sebelum pengujian hipotesis untuk memastikan bahwa persamaan model regresi linear telah dikatakan baik. Uji asumsi klasik yang dilakukan menggunakan uji normalitas dan uji heteroskedastisitas. Uji normalitas bertujuan mengetahui dan memastikan data penelitian berdistribusi normal. Uji heteroskedastisitas dilakukan menggunakan

uji statistik *Glejser*. Model regresi yang baik terbebas dari gejala heteroskedastisitas (Rahadian 2019).

Uji Korelasi

Uji korelasi bertujuan untuk mengukur keeratan hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat. Koefisien korelasi dapat diketahui melalui uji korelasi *Pearson*. Uji korelasi *Pearson* dipilih karena pengujian yang dilakukan merupakan uji statistik parametrik dan dilakukan pada data yang berdistribusi normal (Safitri 2016).

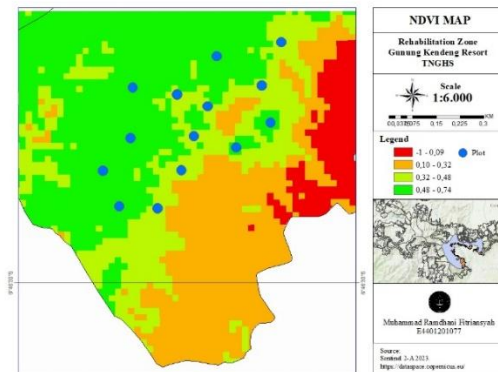
Uji Regresi

Uji regresi merupakan pengujian yang bertujuan mengukur besarnya pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat serta memprediksi variabel terikat dengan menggunakan variabel bebas (Abdillah 2023). Model regresi yang digunakan mengacu pada Duan (1991).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kerapatan Vegetasi di Zona Rehabilitasi Resort Gunung Kendeng, TNGHS

Pendugaan kerapatan vegetasi menggunakan pendekatan Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Hasil analisis NDVI ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Peta NDVI di zona rehabilitasi

Purwanto (2015) menyatakan bahwa lahan dengan tingkat kerapatan vegetasi tinggi ditunjukkan oleh warna yang lebih gelap (hijau) karena tingginya refleksi cahaya yang dihasilkan oleh vegetasinya. Tingkat kerapatan vegetasi memiliki rentang nilai NDVI masing masing pada tiap kelasnya berdasarkan metode klasifikasi *Natural Breaks (Jenks)*. Nilai NDVI mempunyai rentang antara -1 (negatif) hingga 1 (positif), nilai yang mewakili vegetasi berada pada rentang 0,1 hingga 0,7, jika nilai NDVI di atas nilai ini menunjukkan tingkat kesehatan dari tutupan vegetasi yang lebih baik. Hasil NDVI pada Gambar 1 menunjukkan 4 kelas kerapatan vegetasi, namun pada penelitian ini hanya berfokus pada 2 kelas kerapatan vegetasi yaitu sedang dan tinggi. Hal tersebut dikarenakan kondisi di lapangan yang tidak

memungkinkan untuk pengambilan data. Nilai NDVI yang digunakan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Nilai NDVI di Zona Rehabilitasi

Kelas	Nilai NDVI	Kerapatan Vegetasi
1	0,321 – 0,485	Sedang
2	0,485 – 0,746	Tinggi

Nilai NDVI yang dihasilkan pada kedua kelas kerapatan berada pada rentang 0,321 sampai dengan 0,746. Rentang nilai tersebut berada di atas 0 sehingga kedua kelas tersebut dapat diklasifikasikan sebagai area bervegetasi. Area dengan nilai NDVI di bawah 0 termasuk ke dalam area non vegetasi. Setiap kelas kerapatan vegetasi memiliki kondisi tutupan vegetasi yang berbeda-beda.

Komposisi Vegetasi

Komposisi vegetasi dapat dilihat melalui susunan dan jumlah jenis vegetasi yang ditemukan. Analisis vegetasi yang telah dilakukan pada 14 plot dengan total luas sebesar 3,5 ha menunjukkan terdapat 103 jenis tumbuhan yang berasal dari famili yang berbeda. Jumlah jenis yang ditemukan disajikan pada Tabel 2

Tabel 2 Jumlah jenis ditemukan

Tingkat pertumbuhan	Jumlah Jenis	
	Kelas 1	Kelas 2
Tumbuhan bawah	18	23
Semai	19	23
Pancang	27	29
Tiang	30	27
Pohon	25	22
Jumlah seluruh tingkat pertumbuhan	69	79
Total kedua kelas	103	

Jumlah jenis pada seluruh tingkat pertumbuhan di kelas 2 memiliki nilai tertinggi dibandingkan dengan kelas lainnya, yaitu sebanyak 23 jenis tumbuhan bawah dan 56 jenis tumbuhan berkayu pada seluruh tingkat pertumbuhan. Hal ini menandakan bahwa vegetasi yang tumbuh pada lahan dengan kerapatan tertinggi lebih beragam. Tumbuhan berkayu yang ditemukan lebih banyak dibandingkan dengan tumbuhan bawah, yaitu 74 jenis tumbuhan berkayu dan 29 jenis tumbuhan bawah pada seluruh kelas kerapatan.

Indeks Nilai Penting (INP) memberikan gambaran seberapa pentingnya suatu jenis tumbuhan dalam suatu komunitas hutan. INP merupakan nilai yang memberikan suatu gambaran mengenai pengaruh atau peranan suatu jenis vegetasi dalam suatu komunitas tumbuhan. Jenis-jenis yang mendominasi dengan nilai INP tertinggi pada tiap kelas tersaji pada Tabel 3 – 4.

Tabel 3 menunjukkan bahwa jenis pohon tertinggi adalah rasamala (*A. excelsa*) dan pada posisi kedua adalah puspa (*S. walichii*). Keberadaan puspa dan rasamala menunjukkan lokasi tersebut masih tergolong hutan primer karena masih ditemukannya jenis-jenis

primer pada hutan *submontane*. Menurut Sari (2017) salah satu jenis primer di kawasan TNGHS adalah rasamala yang mempunyai nilai konservasi dan ekonomi.

Tabel 3 INP tertinggi di kelas 1

Tingkat pertumbuhan	Nama latin	INP (%)
Tumbuhan bawah	<i>Cycas rumphii</i>	36,48
	<i>Pinanga coronata</i>	19,92
	<i>Microsorium scolopendrium</i>	19,33
Semai	<i>Helicia javanica</i>	28,30
	<i>Ficus callosa</i>	23,80
	<i>Macaranga tanarius</i>	21,77
Pancang	<i>Macaranga tanarius</i>	35,07
	<i>Canarium hirsutum</i>	19,43
	<i>Urophyllum arboreum</i>	14,55
Tiang	<i>Macaranga tanarius</i>	38,51
	<i>Canarium hirsutum</i>	23,23
	<i>Symplocos fasciculata</i>	21,98
Pohon	<i>Altingia excelsa</i>	145,08
	<i>Schima walichii</i>	40,49
	<i>Lithocarpus indutus</i>	14,03

Tabel 4 INP tertinggi di kelas 2

Tingkat pertumbuhan	Nama latin	INP (%)
Tumbuhan bawah	<i>Smilax macrocarpa</i>	31,09
	<i>Microsorium scolopendrium</i>	25,44
	<i>Macaranga tanarius</i>	21,46
Semai	<i>Helicia javanica</i>	29,16
	<i>Macaranga tanarius</i>	27,82
	<i>Canarium hirsutum</i>	19,16
Pancang	<i>Macaranga tanarius</i>	32,26
	<i>Helicia javanica</i>	23,94
	<i>Schima walichii</i>	20,05
Tiang	<i>Swietenia mahagoni</i>	45,12
	<i>Helicia javanica</i>	38,19
	<i>Macaranga tanarius</i>	29,75
Pohon	<i>Altingia excelsa</i>	92,94
	<i>Schima walichii</i>	66,19
	<i>Swietenia mahagoni</i>	46,96

Tabel 4 menyajikan nilai INP yang tidak jauh berbeda. Jenis pohon tertinggi adalah rasamala dan puspa. Hal ini karena adanya penanaman yang dilakukan pihak TNGHS dengan Masyarakat sekitar sebagai upaya untuk memulihkan, mempertahankan, dan meningkatkan fungsi hutan

Pada tingkat pancang di kedua kelas kerapatan jenis pohon Mara (*M. tanarius*) menempati nilai tertinggi. Hal ini dikarenakan pohon mara adalah pohon yang cepat tumbuh sehingga menjadi pilihan yang baik untuk reboisasi dan penghijauan. Menurut Rosidah *et al.* (2018) pohon mara adalah salah satu tumbuhan yang berpotensi sebagai obat yang telah dipergunakan sebagai obat tradisional. Pada tingkat semai di kedua kelas kerapatan pohon kendung (*H. javanica*) menempati nilai tertinggi. TNGHS merupakan salah satu habitat alami pohon kendung. Pohon ini menghasilkan banyak biji kecil yang mudah terdispersi oleh angin dan hewan. Menurut Nursiamdini (2014) pohon kendung adalah jenis pionir yang mampu bertahan hidup melalui permudaan baru.

Indeks Keanekaragaman Vegetasi

Tingkat keanekaragaman jenis pada suatu kawasan dapat diketahui dengan cara mengukur indeks keanekaragaman. Tingkat keanekaragaman jenis dapat dilihat dari nilai indeks keanekaragaman jenis (H'), indeks dominansi jenis (C), indeks kekayaan jenis (R), dan indeks kemerataan jenis (E). Nilai indeks keanekaragaman vegetasi di zona rehabilitasi tersaji pada Tabel 5–6.

Tabel 5 Nilai indeks keanekaragaman (H') dan dominansi (C)

Tingkat pertumbuhan	H'		C	
	K1	K2	K1	K2
Tumbuhan bawah	2,42 (Sd)	2,46 (Sd)	0,11	0,11
Semai	2,55 (Sd)	2,68 (Sd)	0,10	0,09
Pancang	2,86 (Sd)	2,76 (Sd)	0,09	0,09
Tiang	3,08 (Ti)	2,77 (Sd)	0,06	0,09
Pohon	1,8 (Rd)	1,89 (Rd)	0,34	0,22

Rd: Rendah, Sd: Sedang, Ti: Tinggi

Nilai H' tertinggi ditunjukkan oleh tiang di kelas 1 sebesar 3,08 dengan kategori tinggi, sedangkan nilai H' terendah ditunjukkan oleh tingkat pertumbuhan pohon di kelas 1 sebesar 1,8 dengan kategori rendah. Suatu komunitas akan dikatakan memiliki keanekaragaman jenis yang tinggi jika disusun oleh banyak jenis. Rendahnya nilai H' yang diperoleh menandakan bahwa lokasi penelitian belum dapat dikatakan stabil terhadap gangguan. Suatu komunitas dapat dikatakan stabil jika terdapat banyak jenis di dalamnya dengan kelimpahan masing-masing jenis yang sama jumlahnya (Putri dan Indriyanto 2021).

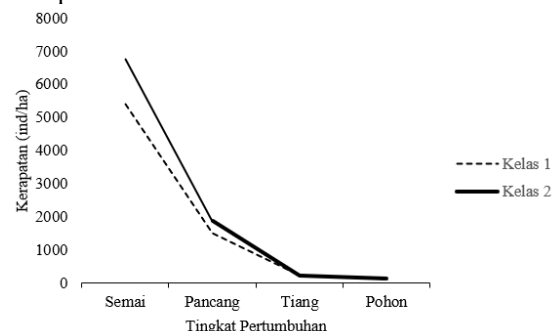
Indeks dominansi jenis Simpson (C) nilai C tertinggi ditunjukkan oleh tingkat pertumbuhan pohon di kelas 1. Hal ini berkaitan dengan rendahnya nilai indeks keanekaragaman jenis (H') karena lokasi pengamatan didominasi oleh satu jenis, yaitu rasamala. Nilai C terendah ditunjukkan oleh tiang pada kelas 1. Hal tersebut dapat terjadi karena tumbuhan bawah pada kelas 1 memiliki keanekaragaman jenis (H') yang paling tinggi dibandingkan dengan tingkat pertumbuhan lain.

Jørgensen *et al.* (2005) menetapkan nilai batas bawah indeks kekayaan jenis sebesar 2,05. Kekayaan jenis suatu ekosistem dapat dikatakan tinggi jika memiliki nilai lebih dari 2,05. Tabel 6 menunjukkan bahwa seluruh tingkat pertumbuhan pada kelas 1 dan 2 memiliki kategori tinggi. Menurut Widiarti *et al.* (2017) indeks kekayaan jenis Margalef mengacu pada banyak jumlah jenis yang ditemukan.

Nilai indeks kemerataan jenis (E) berada pada rentang 0–1. Nilai E yang mendekati 0 menunjukkan kemerataan jenis yang rendah. Kelimpahan jenis yang relatif merata ditunjukkan dengan nilai E yang mendekati 1 (Magurran 2004). Nilai E terendah ditemukan pada tingkat pohon di kelas 1, berbanding lurus dengan nilai H' . Hilwan dan Irfani (2018) menyatakan bahwa nilai E yang rendah menandakan kondisi plot penelitian hanya mendukung beberapa jenis untuk tumbuh dan menguasai area tersebut.

Struktur Tegakan

Struktur horizontal vegetasi menggambarkan tingkat ketersediaan vegetasi pada setiap tingkat pertumbuhan. Struktur horizontal tegakan hutan dipengaruhi oleh kerapatan individu pohon per satuan luas (Karim 2017). Kerapatan individu pohon dengan regenerasinya di zona rehabilitasi Resort Gunung Kendeng TNGHS dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Kerapatan individu pohon dengan regenerasinya

Bentuk kurva yang dihasilkan pada kedua kelas kerapatan membentuk kurva “J” terbalik. Hal tersebut menunjukkan bahwa jumlah pohon per hektar pada tingkat semai, pancang, tiang, dan pohon berturut-turut semakin menurun. Fenomena tersebut menandakan bahwa terdapat cukup banyak individu pohon pada fase awal pertumbuhan yang tumbuh di zona rehabilitasi Resort Gunung Kendeng. Hal ini menunjukkan proses regenerasi dapat berlangsung karena terdapat permudaan dalam jumlah yang mencukupi. Hal tersebut akan menimbulkan fenomena seleksi alam yang dihasilkan dari persaingan berkelanjutan antar jenis maupun beda jenis dalam merebutkan sinar matahari, air, mineral, dan unsur hara.

Pendugaan Biomassa dan Cadangan Karbon

Biomassa merupakan massa keseluruhan materi yang berasal dari makhluk hidup termasuk bahan organik hidup dan bahan organik mati (Pratama *et al.* 2019). Hasil pendugaan biomassa dan cadangan karbon di zona inti Resort Gunung Kendeng TNGHS disajikan pada Tabel 7.

Tabel 6 Nilai indeks kekayaan jenis (R) dan indeks pemerataan jenis (E)

Tingkat pertumbuhan	R		E	
	K1	K2	K1	K2
Tumbuhan bawah	2,73 (Ti)	3,54 (Ti)	0,84	0,78
Semai	3,66 (Ti)	4,28 (Ti)	0,87	0,85
Pancang	5,10 (Ti)	5,26 (Ti)	0,87	0,82
Tiang	6,30 (Ti)	5,65 (Ti)	0,91	0,84
Pohon	4,60 (Ti)	3,86 (Ti)	0,56	0,61

Ti: Tinggi

Tabel 7 Biomassa dan cadangan karbon

Kelas kerapatan	Tingkat pertumbuhan	Biomassa (ton/ha)	Cadangan karbon (ton C/ha)
BSedang (K1)	Semai dan Tumbuhan bawah	0,21	0,10
	Pancang	28,34	13,32
	Tiang	23,32	10,96
	Pohon	239,93	112,77
	Subtotal	291,81	137,15
Tinggi (K2)	Semai dan Tumbuhan bawah	0,25	0,12
	Pancang	35,37	16,62
	Tiang	25,49	11,98
	Pohon	240,19	112,89
	Subtotal	301,30	141,61
Total		593,10	278,76
Rata-rata		296,55	139,38

Biomassa dan cadangan karbon tertinggi ditunjukkan oleh kelas 2, yaitu masing masing sebesar 301,30 ton/ha dan 141,61 ton C/ha. Menurut penelitian Nuranisa *et al.* (2020), faktor yang menyebabkan perbedaan cadangan karbon suatu tegakan diantaranya adalah perbedaan umur tegakan, diameter tegakan, kesuburan tanah, serta cara pengelolaan lahan. Secara keseluruhan, potensi biomassa dan cadangan karbon di zona rehabilitasi TNGHS memiliki nilai rata-rata masing-masing sebesar 296,55 ton/ha dan 139,98 ton C/ha. Hasil yang diperoleh lebih tinggi dibanding dengan hasil penelitian Abdillah (2023) di zona inti TNGHS yaitu biomassa sebesar 124,46 ton/ha dan konsentrasi karbon sebesar 58,50 ton C/ha.

Hubungan antara NDVI dengan Jumlah Jenis, Kerapatan Pohon, Indeks Shannon-Wiener, Luas Bidang Dasar (LBDS), dan Konsentrasi Karbon

Hasil uji asumsi klasik yang dilakukan sebelum pengujian hipotesis menunjukkan bahwa seluruh data telah terdistribusi normal dan tidak menunjukkan gejala heteroskedastisitas. Hal tersebut menandakan bahwa analisis korelasi dan regresi dapat dilakukan. Hasil uji korelasi *Pearson* disajikan pada Tabel 8.

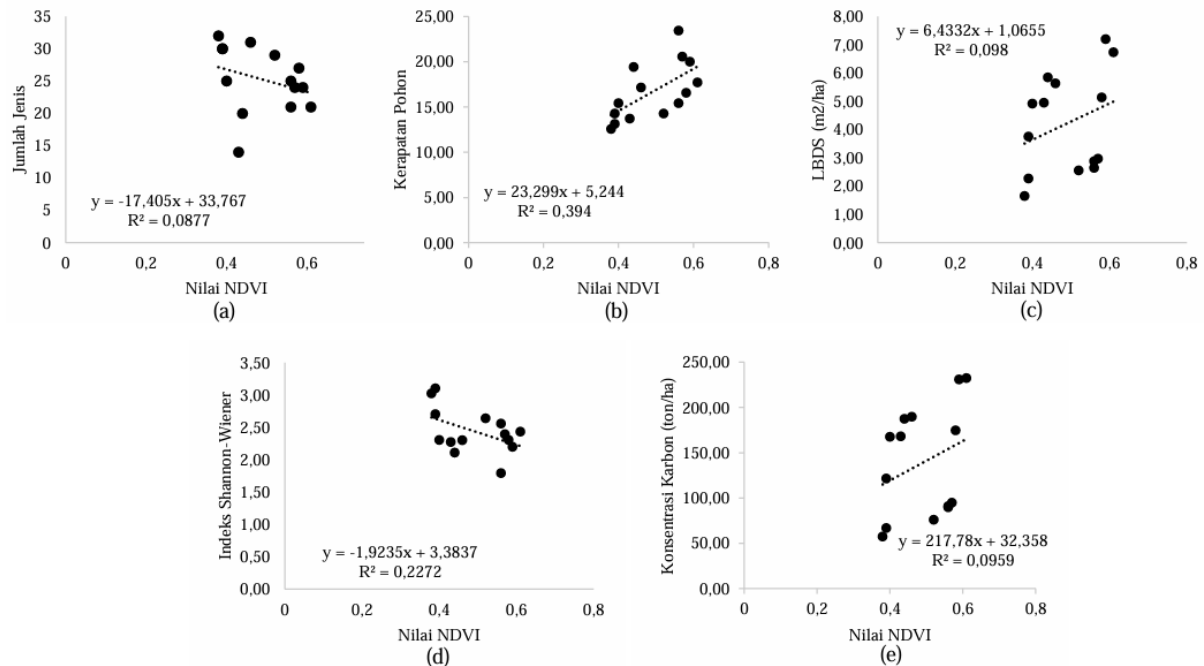
Hubungan korelasi antara konsentrasi karbon dengan LBDS memiliki nilai koefisien yang positif, yaitu sebesar 0,995. Hal ini sesuai dengan pernyataan Yusuf *et al.* (2014) bahwa biomassa atas tegakan sebanyak 55,5% tersimpan di dalam batang. Koefisien korelasi positif menunjukkan hubungan kedua variabel yang searah, sedangkan koefisien korelasi negatif menunjukkan hubungan kedua variabel yang terbalik. Nilai koefisien korelasi yang mendekati 0 menunjukkan hubungan linear kedua variabel sangat lemah atau tidak memiliki hubungan sama sekali. Selain itu, indeks Shannon-Wiener berkorelasi positif dengan jumlah jenis, yaitu sebesar 0,647.

Nilai *r* tabel dengan signifikansi 5% dan 1% masing-masing sebesar 0,532 dan 0,661. Berdasarkan asumsi tersebut, hasil uji korelasi antara NDVI dengan kerapatan pohon memiliki korelasi satu sama lain dengan nilai 0,667. Nilai NDVI berkorelasi positif dengan kerapatan pohon karena NDVI mengukur jumlah vegetasi hijau relatif terhadap total cakupan lahan. Hal ini sesuai dengan penelitian Abdillah (2023) menunjukkan korelasi positif antara NDVI dengan kerapatan pohon.

Tabel 8 Uji korelasi *Pearson*

Variabel	Jumlah jenis	Kerapatan pohon (ind/ha)	Indeks Shannon-Wiener	LBDS (m ² /ha)	Konsentrasi karbon (ton C/ha)
Kerapatan pohon (ind/ha)	-0,367	-	-	-	-
Indeks Shannon-Wiener	0,647*	-0,673**	-	-	-
LBDS (m ² /ha)	-0,411	0,103	-0,515	-	-
Konsentrasi karbon (ton/ha)	-0,422	0,093	-0,526	0,995**	-
Nilai NDVI	-0,296	0,667**	-0,473	0,313	0,310

*Korelasi signifikan pada taraf 0,05 (2-tailed), ** Korelasi signifikan pada taraf 0,01 (2-tailed)



Gambar 3 Hubungan nilai NDVI dengan variabel pengamatan: (a) NDVI dengan jumlah jenis, (b) NDVI dengan kerapatan pohon, (c) NDVI dengan LBDS, (d) NDVI dengan indeks Shannon-Wiener, (e) NDVI dengan konsentrasi karbon.

Hasil analisis regresi (Gambar 3) menunjukkan nilai koefisien determinasi yang diperoleh antara NDVI dengan jumlah jenis, kerapatan pohon, LBDS, indeks Shannon-Wiener, dan konsentrasi karbon tergolong sangat lemah, yaitu secara berturut-turut 8,77%, 39,4%, 9,8%, 22,72%, dan 9,59%. Menurut Bachtiar *et al.* (2022) koefisien determinasi pada rentang nilai 20–39,9% termasuk dalam kategori interpretasi lemah. Sedangkan variabel jumlah jenis, LBDS, dan konsentrasi karbon termasuk dalam kategori sangat lemah. Koefisien determinasi pada rentang nilai 0–19,9% termasuk dalam kategori interpretasi sangat lemah.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Analisis NDVI menghasilkan 2 kelas kerapatan vegetasi, yaitu kelas 1 (kerapatan sedang) dengan nilai 0,321–0,485, dan kelas 2 (kerapatan tinggi) dengan nilai 0,485–0,746. Zona rehabilitasi TNGHS terdiri atas 103 jenis tumbuhan. Pada tingkat kerapatan sedang dan tinggi masing masing 69 dan 79. Jenis tegakan yang mendominasi adalah rasamala. Struktur horizontal vegetasi pada seluruh kelas membentuk kurva “J” terbalik yang berarti sebaran individu dapat menjamin keberlangsungan hutan karena tersedianya regenerasi. Rata-rata biomassa dan konsentrasi karbon yang diperoleh masing-masing sebesar 296,55 ton/ha dan 139,38 ton C/ha. Konsentrasi karbon memiliki korelasi paling tinggi dengan LBDS ($r = 95,5\%$). Nilai NDVI memiliki korelasi paling tinggi dengan kerapatan pohon per hektar.

Saran

Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai data dasar dalam pengelolaan dan pengembangan zona rehabilitasi TNGHS, namun perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait simpanan karbon di kerapatan rendah dan sangat tinggi serta *below ground biomass* untuk melengkapi data simpanan karbon dan tingkat regenerasi jenis endemik yang ada di zona rehabilitasi TNGHS.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah S. 2023. Pendugaan kerapatan vegetasi menggunakan NDVI dan cadangan karbon di zona inti Taman Nasional Gunung Halimun Salak [skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Azharn Z. 2015. Estimasi cadangan karbon pada tutupan lahan hutan sekunder, semak dan belukar di kota samarinda. *Agrifor: Jurnal Ilmu Pertanian dan Kehutanan*, 14(2), 325-338.
- Bachtiar YS, Harisuseno D, Sidqi J, Fidari F. 2022. Prediksi laju infiltrasi berdasarkan sifat porositas tanah, distribusi butiran pasir, dan lanau. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*. 2(1): 156-168.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2019. *Pengukuran dan Perhitungan Cadangan Karbon-Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan (Ground Based Forest Carbon Accounting)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Chave J, Andalo C, Brown S, Cairns MA, Chambers JQ, Eamus D, Folster H, Fromard F, Higuchi N, Kira T, *et al.* 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*. 145:87-99.

- Duan N. 1991. A bias bound for least squares linear regression. *Statistica Sinica*. 127-136.
- Hanan AF, Pratikto I, Soenardjo N. 2020. Analisa distribusi spasial vegetasi mangrove di desa Pantai Mekar Kecamatan Muara Gembong. *Journal of Marine Research*, 9(3), 271-280.
- Hartoyo APP, Sunkar A, Ramadani R, Faluthi S, Hidayati S. 2021. Normalized difference vegetation index (NDVI) analysis for vegetation cover in Leuser ecosystem area, Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas*. 22(3):1160-1171.
- Hilwan I, Irfani E. 2018. Pola penyebaran dan regenerasi jenis saninten (*Castanopsis argentea* Blume) di Resort Selabintana, Taman Nasional Gunung Gede Pangrango. *Jurnal Silvikultur Tropika*. 9(1):53-59.
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006 *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Hayama (JP): Inst for Global Environmental Strategies.
- Jørgensen SE, Costanza R, Xu FL. 2005. *Handbook of Ecological Indicators for Assessment of Ecosystem Health*. Boca Raton (US): CRC Pr
- Karim SN. 2017. Komposisi dan struktur tegakan hutan alam di areal kerja IUPHHK-HA PT Ratah Timber Kalimantan Timur [skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Kusmana C, Istomo, Winata B, Hilwan I. 2022. *Ekologi Hutan Indonesia*. IPB Press. Bogor
- Ludwig JA, Reynold JF. 1988. *Statistical Ecology*. New York (US). John Wiley and Sons.
- Magurran AE. 2004. *Measuring Biological Diversity*. Oxford (GB): Blackwell Scientific.
- Margalef R. 1972. *Homage to Evelyn Hurchinson, Or Why There is an Upper Limit to Diversity?*. New Heaven (US): Connecticut Academy of Arts and Sciences.
- Mosa SA, Istomo, Hartoyo APP. 2024. Estimation of vegetation density using NDVI and carbon stock in the Utilization Zone of Gunung Halimun Salak National Park. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1315, No. 1, p. 012041). IOP Publishing.
- Nuranisa S, Sudiana E, Yani E. 2020. Hubungan umur dengan stok karbon pohon duku (*Lansium parasiticum*) di Desa Kalikajar Kecamatan Kaligondang Kabupaten Purbalingga. *J Ilm Biol Unsoed*. 2(1):146-151.
- Nursiamdini S. 2014. Komposisi jenis dan struktur tegakan hutan terganggu di Gunung Papandayan, Garut, Jawa Barat (skripsi). Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Pratama IPAY, Winaya INS, Suryawan IGPA. 2019. Uji reaktor gasifikasi downdraft biomassa sampah kota. *Jurnal METTEK*. 5(2):110-118.
- Purwanto A. 2015. Pemanfaatan citra landsat 8 untuk identifikasi *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) di Kecamatan Silat Hilir Kabupaten Kapuas Hulu. *Jurnal Edukasi*. 13(1):27-36.
- Putri SM, Indriyanto. 2021. Keanekaragaman tumbuhan penyusun vegetasi hutan lindung Bengkunt di Resor III KPH Unit I Pesisir Barat. *Jurnal Hutan Tropis*. 9(1):212-221.
- Rahadian A. 2019. Model spasial pendugaan biomassa dan karbon mangrove di Indonesia [tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Rosidah MS, Lambui O, Suwastika IN. 2018. Ekstrak daun tumbuhan *Macaranga tanarius* (L.) MA Menghambat laju pertumbuhan bakteri staphylococcus epidermidis. *Natural Science: Journal of Science and Technology*, 7(1).
- Safitri WR. 2016. Analisis korelasi Pearson dalam menentukan hubungan antara kejadian demam berdarah dengue dengan kepadatan penduduk di Kota Surabaya pada tahun 2012-2014. *Jurnal Ilmiah Keperawatan*. 2(2):21-29.
- Sahab A, Darusman D, Muladno. 2015. Penguatan pengelolaan Taman Nasional Gunung Halimun Salak melalui pemberdayaan masyarakat berbasis pengembangan peternakan ruminansia. *Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan*. 2(2):87-97.
- Sari PN. 2017. Penyebaran dan karakteristik habitat jenis rasamala (*Altingia excelsa* Noronha) di Taman Nasional Gunung Halimun Salak (skripsi). Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Simpson E. 1949. Measurement of diversity. *Nature*. 163:688.
- Widiarti A, Murdiah S, Pujiastuti P. 2017. Kekayaan Jenis tumbuhan berhabitus semak di kawasan Taman Hutan Raya Raden Soerjo Sub Wilayah Mojokerto. *saintifika*, 19(2), 55-63.
- Yusuf M, Sulistyawati E, Suhaya Y. 2014. Distribusi biomassa di atas dan bawah permukaan dari surian (*Toona Sinensis* Roem). *Jurnal Matematika dan Sains*. 19(2):69-75.