

ESTIMATION OF CARBON STOCK USING NDVI ANALYSIS (NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX) IN FOREST AREAS WITH SPECIAL OBJECTIVES BENGKULU UNIVERSITY REGENCY NORTH BENGKULU

ESTIMASI CADANGAN KARBON MENGGUNAKAN ANALISIS NDVI (NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX) DI KAWASAN HUTAN DENGAN TUJUAN KHUSUS UNIVERSITAS BENGKULU KABUPATEN BENGKULU UTARA

Wildan Hakim Rahadi¹, Ir. Edi Suharto, M.P², M. Fajrin Hidayat, S.Hut, M.Si³
Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu,
Jl. WR. Supratman, Bengkulu

Email : wildanhr628@gmail.com

Abstrak

Estimasi nilai cadangan karbon diklasifikasikan menjadi 5 jenis tutupan lahan yang telah diolah menggunakan software ArcGIS, dan Google Earth Engine serta observasi lapangan, klasifikasi tersebut antara lain padang rumput, semak belukar, perkebunan/hutan sekunder muda, hutan sekunder, dan hutan primer. Nilai NDVI pada tiap tutupan lahan dengan kisaran pada tutupan lahan padang rumput (0,14-0,33), pada tutupan lahan semak belukar (0,33-0,48), pada tutupan lahan perkebunan/hutan sekunder muda (0,48-0,60), pada tutupan lahan hutan sekunder (0,60-0,71), dan pada tutupan lahan primer (0,710-0,83). Nilai estimasi cadangan karbon yang didapatkan pada tiap tutupan lahan masing-masing adalah tutupan lahan padang rumput (1,67 ton/ha), tutupan lahan semak belukar 5,31 (ton/ha), pada tutupan lahan perkebunan/hutan sekunder muda 9,05 (ton/ha), pada tutupan lahan hutan sekunder 76,97 (ton/ha), pada tutupan lahan hutan primer 260,35 (ton/ha). Hubungan nilai cadangan karbon dengan nilai NDVI menggunakan persamaan regresi linear $y = 1,0586x - 24,118$ dan koefisien determinasinya $R^2 = 0,7146$, sedangkan persamaan regresi model eksponensial $y = 2,2581e^{0,0228x}$ dengan koefisien determinasinya $R^2 = 0,9627$. Kedua persamaan tersebut menunjukkan nilai koefisien determinasi lebih besar daripada 0,47 yang menunjukkan hubungan antara dua variabel tersebut kuat. Permodelan eksponensial cocok digunakan sebagai permodelan dalam estimasi nilai cadangan karbon. Dengan demikian, semakin besar R^2 maka korelasi antara NDVI dengan cadangan karbon semakin kuat.

Kata kunci : NDVI, Cadangan Karbon

PENDAHULUAN

Perubahan iklim global merupakan ketidakstabilan dari atmosfer bumi yang menimbulkan anomali-anomali jangka panjang parameter cuaca dan temperature suhu. Peningkatan temperatur global akan terus naik dengan rata rata 1,8 - 4,0 °C (Susandi *et al*, 2008). Peningkatan suhu global yang signifikan seperti ini akan memiliki dampak yang serius pada lingkungan dan manusia.

Pemanasan global sebagian besar disebabkan oleh aktivitas manusia. Kegiatan-kegiatan tersebut meliputi praktik industri dan transportasi, serta deforestasi dan degradasi hutan akibat perubahan penggunaan lahan. Kegiatan tersebut memberikan kontribusi yang signifikan terhadap meningkatnya emisi gas rumah kaca, yang bertanggung jawab atas unsur karbon yang berlebihan di atmosfer. Akibatnya, pemanasan global menimbulkan ancaman dalam berbagai bentuk, seperti gangguan kesehatan, gangguan pangan, dan kerusakan lingkungan.

Efek rumah kaca sebagai penyebab perubahan iklim global, diterima secara luas oleh para ilmuwan dari seluruh dunia sebagai hasil dari gas rumah kaca seperti karbon dioksida (CO₂), metana (CO₄), dinitrogen oksida (N₂O), hidrofluoro karbon (HFC), dan sulfur heksa fluorida (SF₆). Aktivitas manusia menghasilkan gas rumah kaca, terutama yang melibatkan penggunaan bahan bakar fosil seperti minyak, batu bara, serta gas alam. Gas-gas di atmosfer yang mampu menyerap radiasi matahari yang dipantulkan oleh bumi disebut sebagai gas rumah kaca (GRK), yang

menyebabkan peninggaran suhu di permukaan bumi (Azham, 2015).

Konferensi Perubahan Iklim Perserikatan Bangsa-bangsa disebut dengan COP21 di Paris mengadopsi Kesepakatan Paris (*Paris Agreement*) yang bertujuan untuk mencegah kenaikan suhu rata-rata global melebihi 2°C di atas tingkat sebelum Revolusi Industri. Selain itu, kesepakatan tersebut berkomitmen untuk berupaya mencapai penurunan suhu hingga tidak lebih dari 1,5°C. Kesepakatan Paris juga menjadi dasar hukum bagi implementasi tindakan perubahan iklim secara universal di tingkat internasional, yang harus dijalankan dan diikat secara hukum oleh semua negara yang terlibat (Pramudianto, 2016).

Sektor kehutanan berperan penting dalam penurunan emisi gas rumah kaca dan pencapaian target netral karbon. Indonesia memiliki komitmen untuk mencapai *Forestry and Other land Uses (FOLU) Net Sink 2030*, yang bertujuan mencapai keseimbangan atau bahkan melebihi penyerapan emisi gas rumah kaca dari sektor kehutanan dan penggunaan lahan pada tahun 2030. Pencapaian target penyerapan emisi sebesar -140 juta ton CO₂e pada tahun 2030 direalisasikan melalui implementasi. Sektor kehutanan menjadi penyumbang terbesar, mencapai kontribusi sebanyak 60% dalam pencapaian target netral karbon atau *net-zero emission* tersebut.

Universitas Bengkulu mengelola Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK). Kawasan tersebut berdasarkan administrasi pemerintah terletak di Kecamatan Arma Jaya Kabupaten Bengkulu Utara, Provinsi Bengkulu.

KHDTK Universitas Bengkulu merupakan salah satu hutan alami dengan didominasi oleh pepohonan yang beragam sehingga area tersebut memiliki kemampuan untuk menyimpan karbon. Potensi ini tergambar dalam keberagaman pohon berjenis kayu yang mendominasi berbagai jenis tutupan lahan. Tegakan ini memiliki potensi untuk menyerap karbon dioksida (CO₂) dari udara dan menyimpannya dalam bentuk biomassa.

Perkembangan teknologi saat ini memfasilitasi pelaksanaan penelitian yang efisien dan efektif menggunakan proses penginderaan jauh dan kerangka data geografis (GIS) untuk melakukan riset secara global tanpa perlu melakukan sensus. Citra satelit/foto udara dapat digunakan untuk menentukan nilai indeks vegetasi dengan pendekatan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) (Karmila *et al.*, 2020).

NDVI merupakan perhitungan yang menggunakan citra satelit/foto udara untuk menentukan indeks kehijauan pada awal pembagian zona vegetasi. Dengan menggunakan analisis NDVI ini, menjadi lebih mudah untuk menghitung nilai karbon skala besar dalam waktu yang singkat dan dengan biaya relatif lebih rendah (Wulandari, 2020).

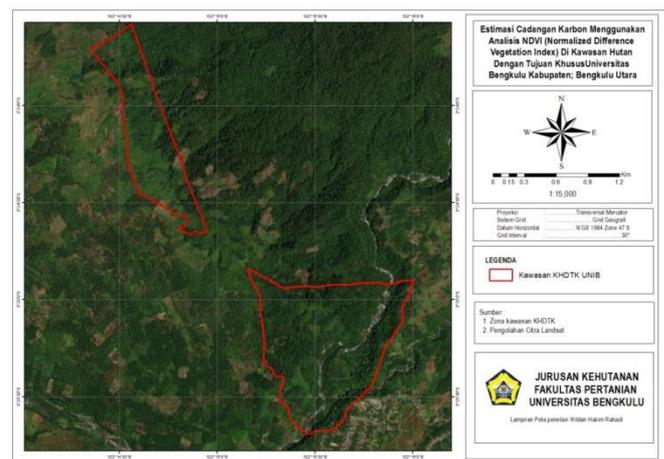
Bersamaan dengan kemajuan teknologi, terutama dalam bidang penginderaan jauh, teknologi ini memungkinkan untuk mengkaji stok karbon di wilayah KHDTK UNIB. Penggunaan penginderaan jauh memiliki potensi yang besar dalam pengembangan metode pengukuran stok karbon dengan keunggulan efisiensi biaya, waktu, dan kemudahan pengukuran.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai cadangan karbon yang tersimpan di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus Universitas Bengkulu Kabupaten Bengkulu Utara berdasarkan nilai NDVI.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus Universitas Bengkulu, Kabupaten Bengkulu Utara, Provinsi Bengkulu. Waktu penelitian dimulai dari bulan Juli 2023 hingga bulan September 2023.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Alat yang digunakan untuk pengambilan dan pengolahan data antara lain: pita ukur, GPS, meteran, tali, kamera, hagameter, tallysheet, laptop serta software berupa program SIG ArcGIS versi 10.8, program SIG QGIS versi 3.30.3, platform Google Earth Engine, dan Microsoft Excel. Sedangkan bahan yang digunakan berupa Citra Landsat 8 yang didapatkan dari *United State Geological Survey (USGS)*, vegetasi dan sampel biomassa tegakan yang terdapat pada tutupan lahan berupa hutan di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus Universitas Bengkulu

Teknik pengumpulan data pada penelitian yaitu :

1. Pra pengolahan citra landsat 8 OLI

Tahap ini mencakup proses cropping atau pemotongan citra untuk membatasi wilayah penelitian dan memudahkan pengolahan data. Selanjutnya, dilakukan proses koreksi radiometri dengan tujuan memperbaiki nilai piksel, mempertimbangkan faktor gangguan atmosfer sebagai penyebab utama kesalahan. Gangguan atmosfer dapat menyebabkan nilai pantulan dari objek di permukaan bumi yang direkam oleh sensor tidak mencerminkan nilai sebenarnya. Kemudian dilakukan pembuatan peta kelas tutupan lahan dengan metode NDVI dengan menggunakan rumus :

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Hasil NDVI kemudian disusun dalam kategori tutupan lahan berdasarkan nilai NDVI. Klasifikasi tutupan lahan ini mengikuti klasifikasi delapan kelas yang diacu dari Jauhari *et al* (2015).

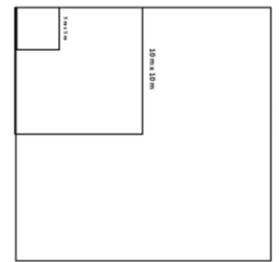
Tabel 3. Kelas Tutupan Lahan Berdasarkan Nilai NDVI

Kelas	Nilai NDVI	Tingkat Kehijauan
1	-0,9 – 0,00	Awan, Air
2	0,00 – 0,10	Area Terbuka, Pertambangan
3	0,10 – 0,20	Padang Rumput
4	0,20 – 0,30	Semak Belukar
5	0,30 – 0,40	Semak, Perkebunan Muda
6	0,40 – 0,50	Perkebunan Tua, Hutan SekunderMuda
7	0,50 – 0,60	Hutan Sekunder Sedang
8	0,60 – 0,70	Hutan Sekunder Tua

Sumber : Jauhari *et al*, 2015

2. Pembentukan plot

Pembentukan plot dilakukan dengan metode *purposive sampling* dimana penentuan lokasi plot disesuaikan dengan aksesibilitas yang ada untuk memudahkan pembuatan plot dan pengukuran. Plot yang digunakan berupa plot sarang dimana pada plot berukuran 20 x 20 m tingkat poho, 10x10 m untuk pengukuran tingkat pertumbuhan tiang, 5x5 m untuk pengukuran tingkat pancang.



Gambar 1. Plot sampel

3. Pengolahan data

a. Perhitungan biomassa tegakan

Untuk perhitungan biomassa pohon persamaan allometrik yang lebih umum yang digunakan sesuai iklim dan tipe hutan dengan menyertai diameter pohon dan rataan berat jenis kayu yang digunakan adalah 0,68 gr/cm (Rahayu, 2007). Persamaan allometriknya yaitu:

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

Keterangan:

Y = Total biomassa (kg)

ρ = Berat jenis kayu 0,68 gr/cm³

DBH = Diameter setinggi dada (m)

T = Tinggi bebas cabang (m)

b. Cadangan karbon

Estimasi cadangan karbon dihitung setelah memperoleh data biomassa, dengan melakukan perkalian hasil biomassa. Rumus perhitungan karbon dari biomassa pohon adalah:

$$Cb = B \times \% C \text{ organik}$$

Keterangan:

Cb = Kandungan karbon dari biomassa

(kg) B (Y) = Total Biomassa (kg)

% C organic = Nilai persentase kandungan karbo 0,47

Perhitungan kandungan karbon per hektar

dapat dihitung menggunakan persamaan menurut SNI (2011):

$$Cn = \frac{Cb}{1000} \times \frac{10.000}{1 \text{ Plot}}$$

Keterangan:

Cn = Kandungan karbon perhektar (ton/ha)

Cb = Kandungan karbon (kg)

l plot = Luas plot (m²)

c. Analisis Model

Model umum persamaan regresi yang diujikan dalam estimasi cadangan karbon biomassa adalah

1. Linear $Y = a + b^x$
2. Eksponensial $Y = ae^{bx}$

Keterangan :

Y = Biomassa (ton/ha)

X = Nilai NDVI

a,b = nilai konstanta, koefisien

d. Uji Korelasi

Hipotesis yang diuji untuk mengetahui korelasi antar peubah adalah :

$H_0 : r = 0$, maka tidak ada korelasi antara dua variabel

$H_0 : r \neq 0$, maka ada korelasi antara dua variabel

Kaidah tersebut dapat dilihat dari hasil p-value dari uji korelasi. Nilai p-value $> \alpha$, maka H_0 diterima, dan jika p-value $< \alpha$, maka H_0 ditolak, dengan α merupakan probabilitas untuk melakukan kesalahan dengan nilai sebesar 5% atau tingkat kepercayaan sebesar 95%.

e. Uji Regresi

Koefisien regresi merupakan koefisien yang mengukur besarnya pengaruh variabel x bebas terhadap variabel y terikat. Uji koefisien regresi dilakukan melalui F-hitung (ANOVA) dan melihat koefisien determinasi (R^2). Koefisien determinasi sebesar 60% memiliki arti bahwa 60% variabel variabel X dapat menerangkan variabel variabel Y, sedangkan sisanya dapat diterangkan dengan factor lainnya. Variabel x pada penelitian ini adalah nilai index vegetasi NDVI dan variabel y adalah potensi biomassa pada plot contoh:

Tabel 4. Interval Koefisien Korelasi dan Tingkat Hubungan

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0.00 – 0.19	Sangat Rendah
0.20 – 0.39	Rendah
0.40 – 0.59	Sedang
0.60 – 0.79	Kuat

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Identifikasi

Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Universitas Bengkulu, Kabupaten Bengkulu Utara dengan luas 217,2 Ha merupakan salah satu kawasan hutan yang diperuntukan sebagai lokasi kegiatan penelitian, pengembangan kehutanan, pendidikan dan pelatihan kehutanan. Penelitian ini dilakukan pada blok 1 dengan jumlah plot sebanyak 30 plot yang terbagi menjadi 5 kelas tutupan lahan. Hal tersebut berdasarkan kelas tutupan lahan menurut Jauhari et al, 2015 yang mencangkup tingkat kehijauan area.

Tabel 5. Lokasi Plot berdasarkan observasi dengan nilai NDVI

No Plot	Koordinat		Hasil Observasi
	E	S	
1	102°15'50.953"E	3°25'2.193"S	Padang rumput
2	102°15'49.938"E	3°25'3.249"S	Padang Rumput
3	102°15'47.989"E	3°25'7.055"S	Padang Rumput
4	102°15'50.941"E	3°25'3.111"S	Semak Belukar
5	102°15'50.01"E	3°25'4.21"S	Semak Belukar
6	102°15'28.286"E	3°25'39.18"S	Semak Belukar Perkebunan/ Hutan Sekunder
7	102°15'47.007"E	3°25'7.845"S	Muda Perkebunan/ Hutan Sekunder
8	102°15'47.94"E	3°25'6.11"S	Muda Perkebunan/ Hutan Sekunder
9	102°15'49.932"E	3°25'2.219"S	Muda
10	102°15'47.094"E	3°25'6.998"S	Hutan Sekunder
11	102°15'48.87"E	3°25'5.054"S	Hutan Sekunder
12	102°15'48.915"E	3°25'4.037"S	Hutan Sekunder
13	102°15'49.808"E	3°25'1.329"S	Hutan Sekunder
14	102°15'49.895"E	3°25'0.27"S	Hutan Sekunder
15	102°15'46.993"E	3°25'7.072"S	Hutan Sekunder
16	102°15'46.12"E	3°25'3.014"S	Hutan Primer
17	102°15'46.022"E	3°25'8.277"S	hutan Primer Perkebunan/Hutan
18	102°15'46.895"E	3°25'6.199"S	Sekunder Muda Perkebunan/Hutan
19	102°15'47.033"E	3°25'4.858"S	Sekunder Muda Perkebunan/Hutan
20	102°15'46.134"E	3°25'3.949"S	Sekunder Muda
21	102°15'47.002"E	3°25'4.019"S	hutan Primer
22	102°15'47.505"E	3°25'3.048"S	hutan Primer
23	102°15'47.539"E	3°25'3.048"S	hutan Primer
24	102°15'49.049"E	3°25'1.357"S	hutan Primer
25	102°15'49.013"E	3°25'0.419"S	hutan Sekunder
26	102°15'47.116"E	3°25'23.709"S	hutan Primer
27	102°15'47.656"E	3°25'22.786"S	hutan Primer
28	102°15'48.506"E	3°25'22.044"S	hutan Primer
29	102°15'49.904"E	3°25'18.761"S	hutan Primer

30 102°15'49.845"E 3°25'19.921"S hutan Primer

Sumber : Data Lapangan

2. Nilai NDVI

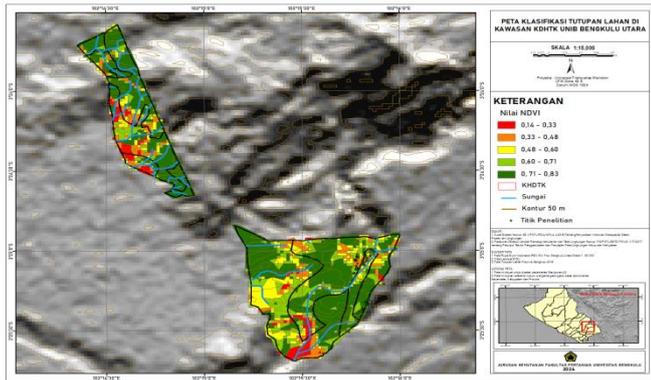
Kelas tutupan lahan merupakan interpretasi indeks dari citra Landsat 8 OLI. Interpretasi dari citra landsat 8 OLI menggunakan beberapa saluran citra satelit yakni band 4 dan band 5 sehingga mendapatkan nilai dengan karakteristik khas yang dapat digunakan untuk memperkirakan kehijauan vegetasi. Hasil dari proses pengolahan citra menunjukkan berbagai macam warna dalam pengklasifikasiannya, nilai citra yang didapatkan berkisaran 0,14 – 0,83.

Tabel 6. Kriteria NDVI

Nilai NDVI	Deskripsi
-1 s/d 0	Perairan /non vegetasi
0 s/d 0.2	NDVI sangat rendah
0.2 s/d 0.6	NDVI sedang
0.6 s/d 1	NDVI tinggi

Sumber : (Syarifah et al, 2006)

Syarifah et al, 2006 mengatakan bahwa Daerah yang memiliki nilai NDVI di atas 0,2 hingga sekitar 0,5 atau 0,6 menunjukkan adanya jumlah vegetasi pada tingkat rata-rata, yang umumnya mencirikan keberadaan semak, padang rumput, atau lahan perkebunan dan pertanian. Sementara itu, daerah dengan nilai NDVI lebih dari 0,6 menunjukkan keberadaan kerapatan vegetasi yang tinggi, yang biasanya mencirikan wilayah hutan. Klasifikasi NDVI dari KHDTK UNIB berdasarkan Jauhari, et al (2015) terbagi menjadi 5 tutupan lahan. Sebaran tutupan lahan di KHDTK UNIB dapat dilihat pada gambar 3 dan Tabel 7.



Gambar 3. Peta Tutupan Lahan KHDTK UNIB

Gambar tersebut menjelaskan bahwa KHDTK UNIB bahwa KHDK UNIB memiliki bermacam kerapatan vegetasi dari yang tinggi hingga terendah. Persebaran terbanyak berada pada kisaran nilai 0,71-0,83 dapat dikatakan wilayah KHDTK UNIB memiliki tingkat kerapatan vegetasi yang tinggi atau masih banyak areal yang ditumbuhi pepohonan. Selain itu, disebagian wilayah KHDTK UNIB terdapat nilai NDVI dengan nilai rendah, yang pada pengamatan lapangan sebagian besar terbuka dan hanya memiliki beberapa vegetasi yang terbatas.

Tabel 7. Luas Tiap Kelas Tutupan Lahan KHDTK UNIB

Kelas Tutupan Lahan	Nilai NDVI	Jumlah Pixel	Area Lebar	
			Ha	%
Padang Rumput	0,14 – 0,33	146	10,05	4,62%
Semak Belukar	0,33 – 0,48	241	18,55	8,54%
Perkebunan/ Hutan Sekunder Muda	0,48 – 0,60	363	28,34	13,04%
Hutan Sekunder	0,60 – 0,71	483	38,02	17,49%
Hutan Primer	0,71 – 0,83	1396	122,38	56,31%
Total			217,34	100,00%

Sumber : Data Lapangan

Pada tabel diatas menjelaskan bahwa kelas tutupan lahan hutan primer mendominasi kawasan hutan dengan persentase terbesar 56,31%. Diikuti oleh kelas tutupan lahan sekunder 17,49%, Perkebunan 13,04%, semak belukar 8,54%, dan padang rumput 4,62%. Berdasarkan hal tersebut plot berjumlah 30 plot yang terbagi pada masing masing kelas tutupan lahan. Pada tutupan lahan pdang rumput berjumlah 3 plot, semak belukar 3 plot, Perkebunan 3 plot, hutan sekunder 6 plot, dan hutan primer 15 plot. Pembagian tersebut berdasarkan penyesuaian komposisi jumlah pixel yang ada untuk dimasukkan dalam permodelan Analisis. Hasil nilai tersebut menyatakan KHDK UNIB memiliki bermacam kerapatan vegetasi dari yang tinggi hingga terendah.

Pada setiap plot yang diukur adalah jumlah pohon dan tinggi serta diameter pada setiap tingkatan yakni pohon, tiang dan pancang. Jumlah Tumbuhan berkayu (pohon,tiang,pancang) pada masing masing tutupan lahan dapat dilihat pada table 8.

Tabel 8. Jumlah Tumbuhan Berkayu

Kelas Tutupan Lahan	Jumlah tumbuhan berkayu			Total
	Pohon	Tiang	Pancang	
Padang Rumput	6	6	10	31
Semak Belukar	11	16	19	46
Perkebunan/ Hutan Sekunder Muda	16	24	27	51
Hutan Sekunder	49	30	42	121
Hutan Primer	147	109	85	341
Total	229	185	183	597

Sumber : Data Lapangan

Total individu tumbuhan berkayu sebanyak 597 dengan Struktur tumbuhan berkayu pada

tingkat pohon sebanyak 229 individu, tingkat tiang 185 individu, dan tingkat pancang 183 individu. Jenis tumbuhan di KHDTK UNIB memiliki diameter dan tinggi yang berbeda beda, serta persebaran yang merata.

3. Potensi stok karbon

Komponen hutan yang dihitung potensinya pada pendugaan biomassa di atas permukaan tanah antara lain pada tingkat pohon, tiang, dan pancang. Potensi stok karbon pada setiap tingkatan dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9. Perhitungan karbon pada setiap tingkatan vegetasi di kelas tutupan lahan

Kelas Tutupan Lahan	Biomassa/tuplah			Karbon ton/ha		
	Pohon	Tiang	Pancang	Pohon/ha	Tiang/ha	Pancang/ha
Padang Rumput Semak Belukar	67,01	13,29	1,39	0,79	0,62	0,26
Perkebunan Hutan Sekunder	345,12	60,91	4,02	4,06	1,08	0,18
Hutan Primer	556,23	98,90	4,93	6,54	1,99	0,53
Total	6243,14	122,60	10,50	73,36	2,86	0,75
	21764,55	416,67	16,50	255,73	3,49	1,03
	28976,06	712,38	37,34	340,47	10,04	2,75

Sumber : Data Lapangan

Pada tabel diatas m enjelaskan bahwa biomassa terbesar pada tutupan lahan hutan primer tingkatan pohon dengan karbon/ha 255,73,42 ton/ha, hutan sekunder 73,36 ton/ha, perkebunan 6,54 ton/ha, semak belukar 4,06 ton/ha, padang rumput 0,79 ton/ha. Pada tingkatan lainnya yakni tiang dan pancang nilai dari karbon/ha berturut tingkat tiang 3,49 ton/ha; 2,86 ton/ha; 1,99 ton/ha; 1,08 ton/ha; 0,62 ton/ha. Tingkat pancang 1,03 ton/ha; 0,75 ton/ha; 0,53 ton/ha; 0,18 ton/ha; 0,26 ton/ha.

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa pohon memiliki biomassa terbesar dibandingkan dengan

dengan tingkatan vegetasi lain. Hal ini sesuai dengan Dana (2006) dalam jurnal Padang (2023), besar nilai kandungan biomassa dan karbon pada pohon disebabkan oleh sifat pohon sebagai jenis vegetasi yang mampu tumbuh tinggi dan besar dengan diameter yang luas. Oleh karena itu, pohon dapat menyimpan biomassa dan menyerap karbon secara lebih banyak dibandingkan dengan jenis vegetasi lainnya. Tingkat vegetasi pohon memiliki akses yang lebih besar terhadap sinar matahari dibandingkan dengan tingkat vegetasi lain yang mungkin terhalang oleh vegetasi pohon. Sebagai akibatnya, biomassa paling banyak terdapat pada tingkat vegetasi pohon. Jumlah biomassa secara langsung terkait dengan proses fotosintesis, karena pohon mampu menyerap CO₂ dari udara dan mengubahnya menjadi senyawa organik.

Tabel 10. Cadangan Karbon KHDTK UNIB

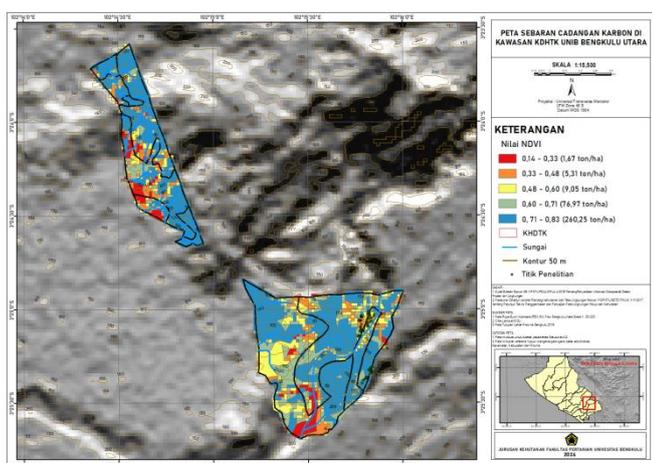
Kelas Tutupan Lahan	Biomassa (Kg)	C-Stok (Ton/ha)
Padang Rumput	81,69	1,67
Semak Belukar	410,05	5,31
Perkebunan/	660,07	9,05
Hutan Sekunder	6376,24	76,97
Hutan Primer	22197,73	260,25
Total	29725,77	353,26

Sumber : Data Lapangan

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa cadangan karbon yang dapat disimpan oleh KHDTK UNIB Sebesar 353,26 ton/ha yang mana cadangan karbon terbesar berada pada kelas tutupan lahan primer dengan nilai 260,35 ton/ha dengan kisaran nilai NDVI (0,71 – 0,83). Pada jenis kelas tutupan lahan hutan

sekunder estimasi nilai cadangan karbonnya 76,97 ton/ha dengan nilai NDVI (0,60 – 0,71). Pada jenis tutupan lahan perkebunan dengan nilai estimasi cadangan karbon 9,05 ton/ha dengan nilai NDVI (0,48 – 0,60). Pada jenis tutupan semak belukar nilai estimasi cadangan karbon 5,31 dengan nilai NDVI (0,33 – 0,48). Pada jenis tutupan lahan padang rumput nilai estimasi cadangan karbon 1,67 ton/ha dengan nilai NDVI (0,14 – 0,33).

Estimasi nilai cadangan karbon pada kelas tutupan lahan dari data diatas dipengaruhi oleh tipe dan kondisi ekosistemnya sesuai dengan pernyataan hairiah (2007) penyerapan karbon tergantung pada tipe dan kondisi ekosistemnya yaitu komposisi, jenis, struktur, dan sebaran umur. Cadangan karbon juga dipengaruhi oleh kerapatan suatu lahan, lahan yang memiliki kerapatan yang tinggi biomasnya akan lebih tinggi dibandingkan dengan kerapatan yang lebih rendah. Disisi lain, diameter pohon sangat mempengaruhi dari total kandungan karbon ,Karmila D *et al*, 2020. Peta sebaran karbon dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Peta cadangan karbon

Tipe hutan dan kondisi ekosistem mempengaruhi penyerapan karbon, sehingga

penyerapan karbon dapat estimasi berdasarkan kerapatan vegetasi. Menurut Limbong,A.G (2023) Hutan Lemo Nakai Bengkulu utara memiliki ekosistem dan jenis vegetasi serta tipe hutan hutan hujan tropis. Nilai cadangan karbon pada tiap kelas kerapatan yakni kerapatan jarang 68,67 ton/ha dengan nilai NDVI 0,56 – 0,70, kerapatan sedang 128,3 ton/ha dengan nilai NDVI 0,71 – 0,85 dengan luasan 1053,33 ha.

Nilai cadangan karbon KHDTK UNIB jauh lebih rendah dibandingkan dengan hutan Lemo Nakai yang memiliki rata rata stok karbon yang lebih besar. Hal ini dikarenakan luasan hutan Lemo Nakai lebih besar dibandingkan dengan KHDTK. Namun perbedaan diterlalu besar jika dibandingkan dengan luasan per stok karbon. Cadangan karbon KHDTK UNIB sebesar 353,26 ton/ha dengan luas sekitar 217,2 ha KHDTK UNIB mampu memberikan kontribusi yang cukup dalam penyerapan karbon serta emisi karbon dunia.

Stok karbon KHDTK UNIB lebih dekat dengan KHDTK Universitas Lambung Mangkurat(ULM) dengan tipe hutan serta ekosistem yang tidak begitu jauh berbeda. KHDTK ULM memiki total stok karbon sebesar 46,98 ton/ha dengan kelas kerapatan serta nilai NDVI yang hampir sama.(Karmila D *et al*, 2020)

4. Analisis Permodelan

a. Analisis Korelasi

Uji korelasi merupakan metode Untuk mengukur kekuatan hubungan antar variabel X dan terikat Y, dilakukan analisis korelasi yang hasilnya

dinyatakan oleh suatu bilangan yang dikenal dengan koefisien korelasi.

	Variabel X	Variabel Y
Variabel X	1	
Variabel Y	0,84535994	1

Hasil perhitungan koefisien $r = 0,8453$ angka tersebut menunjukkan bahwa korelasi/hubungan antara dua nilai tersebut adalah kuat karena besarnya $> 0,5$ (Sugiyono, 2004). Nilai koefisien r berpola linear positif dapat dikatakan bahwa semakin tinggi nilai NDVI maka semakin besar juga cadangan karbon yang dapat disimpan.

b. Analisis Permodelan regresi

1. Permodelan Linear

Analisis statistik yang digunakan adalah regresi. Analisis korelasi digunakan untuk mengukur keeratan hubungan antara variabel x dan variabel y , variabel x ialah nilai dari NDVI dan Variabel Y ialah nilai dari Perhitungan Cadangan Karbon. Besarnya koefisien korelasi bergerak antara -1 sampai 1 . Sedangkan analisis regresi digunakan untuk mengukur seberapa besar variabel bebas mampu menjelaskan variabel terikat. Permodelan yang dilihat yakni permodelan linear. Analisis regresi dapat dilihat pada tabel 11.

Tabel 11. Permodelan linear regresi

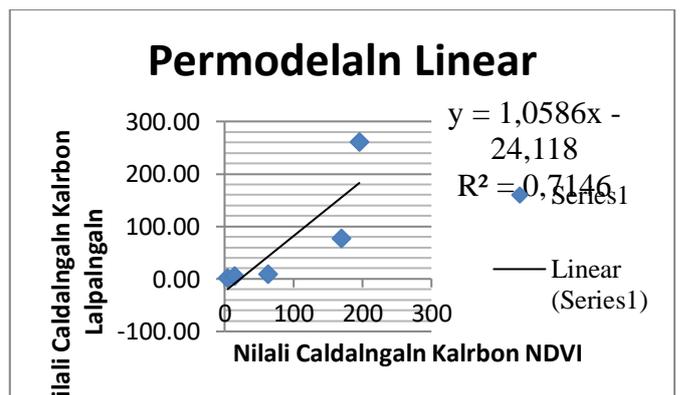
Hasil Permodelan Linear	
$y = 1,0586x - 24,118$	
Multiple R	0,84535994
R Square	0,714633428
Adjusted R Square	0,619511237

Standard Error	68,13966447
F-Hitung	7,512794046
F-Tabel	0,156537812
P-Value	0,636961605

Hasil Permodelan Linear	
F- Signifikansi	0,071281597
Intercept	-24,11751489
X Variable 1	1,058645611

Sumber : Data Olah Statistik

Analisis regresi dari permodelan linear $y = a + bx$ didapatkan bahwa persamaan model $y = 1,0586x - 24,118$ dengan koefisien determinasi (R^2) = 0,7146. Nilai koefisien determinasi (R^2) menunjukkan bahwa 71% korelasi antara NDVI dan cadangan karbon kuat. Hal ini sesuai dengan pernyataan Sugiyono, (2004) bahwa hubungan dapat dikatakan kuat apabila nilai dari koefisien $R^2 > 0,6$. Hubungan antara NDVI dan Cadangan karbon dapat dilihat pada gambar 5.



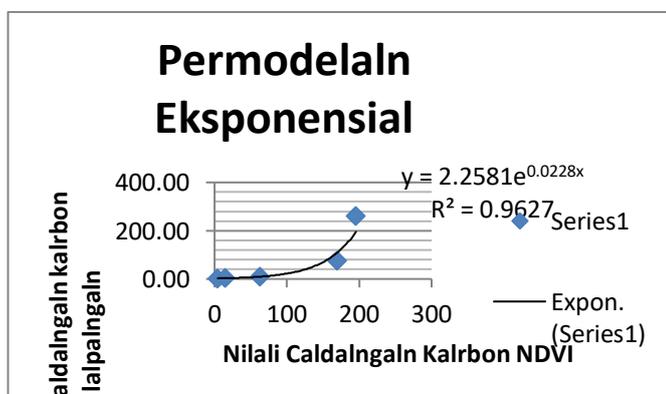
Gambar 5. Permodelan persamaan linear

Persamaan linear regresi $y = 1,0586x - 24,118$ dapat dijelaskan bahwa nilai stok karbon akan meningkat apabila nilai NDVI juga meningkat. Nilai koefisien determinasi 0,97 atau 97% menjelaskan bahwa nilai NDVI mampu

menjelaskan nilai cadangan karbon sebesar 97% sementara sisanya yaitu sebesar 3% dapat dijelaskan oleh faktor lainnya diluar model. Hasil output dari Uji ANOVA yakni $F_{Hitung} = 0.000409453$ dengan nilai signifikansi 0,0712. signifikansi dapat dibandingkan dengan alfa (α), alfa yang digunakan 0,05. Pengaruh dua variabel dapat dikatakan signifikan apabila nilai signifikansi < dari alfa (α), sehingga dapat dikatakan bahwa adanya pengaruh yang signifikan dari nilai NDVI dan nilai cadangan karbon dikarenakan nilai signifikansi lebih kecil dari nilai alfa.

2. Permodelan Eksponensial

Analisis regresi dari permodelan Eksponensial $y = ae^{bx}$ didapatkan persamaan model $y = 2,2581e^{0.0228x}$ dengan koefisien determinasi (R^2) = 0,96. Nilai koefisien determinasi (R^2) menunjukkan bahwa 90% korelasi antara NDVI dan cadangan karbon kuat. Hal ini sesuai dengan pernyataan Sugiyono (2004) bahwa hubungan dapat dikatakan kuat apabila nilai dari koefisien $R^2 > 0,47$. Hubungan antara NDVI dan Cadangan karbon dapat dilihat pada gambar 6



Gambar 6. Permodelan Eksponensial

Permodelan dari dua model yakni linear dan eksponensial memiliki nilai yang berbeda – beda. Pada beberapa model dan analisis yang

dilakukan nilai r tertinggi berada pada analisis permodelan eksponensial dengan r^2 0,97, hal ini dapat diartikan bahwa nilai NDVI dan nilai cadangan karbon memiliki hubungan yang kuat dimana semakin tinggi nilai NDVI maka semakin besar juga cadangan karbon yang dapat disimpan atau dapat dikatakan nilai NDVI bertambah maka bertambah juga serapan karbon yang dapat disimpan oleh biomassa. Permodelan Eksponensial tinggi dikarenakan rerataan nilai indeks memiliki alur yang konstan terhadap cadangan karbon lapangan dengan mean yang diambil sebagai landasan permodelan.

5. Uji T

T tabel merupakan jenis tabel distribusi yang digunakan untuk mengevaluasi hipotesis, bergantung pada statistik uji t sebagai perbandingan. Penggunaan rumus t hitung dan tabel t adalah metode statistik yang digunakan untuk menguji perbedaan antara dua kelompok data. Rumus t hitung digunakan untuk menghitung nilai t berdasarkan data yang dimiliki, sementara tabel t digunakan untuk menemukan nilai kritis t yang diperlukan dalam menguji hipotesis.

Jika nilai t yang dihitung melebihi nilai kritis t pada tabel distribusi t, maka dapat disimpulkan bahwa kita dapat menolak hipotesis null dan menyatakan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua kelompok data yang sedang dibandingkan. Hasil uji t dapat dilihat pada tabel 12.

Tabel 12. Hasil Uji T

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value
Intercept	-24,11751489	46,08769938	-0,523296134	0,636961605
X Variable 1	1,058645611	0,386233429	2,740947655	0,0712814

Khusus (KHDTK) Gunung Bromo. Jurnal Belantara, Jawa Tengah.

Hasil uji- T diperoleh t- hitung 2,740947655 dan t-tabel 2,1318467 dengan tingkat signifikansi 0,05 maka menolak hipotesis 0 bahwa adanya pengaruh antara nilai NDVI dengan nilai cadangan karbon. Kenaikan satu satuan nilai NDVI akan menaikkan cadangan karbon sebesar 1,058645611.

KESIMPULAN

Hasil Penelitian estimasi cadangan karbon menggunakan NDVI di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus Universitas Bengkulu menunjukkan bahwa pada kelas tutupan lahan memiliki nilai masing masing yakni pada kelas tutupan lahan hutan primer 260,35 ton/ha dengan kisaran nilai NDVI (0,71 – 0,83). Pada kelas tutupan lahan hutan sekunder nilai cadangan karbon 76,97 ton/ha dengan nilai NDVI (0,60 – 0,71). Pada kelas tutupan lahan Perkebunan/hutan sekunder muda nilai estimasi cadangan karbon 9,05 ton/ha dengan nilai NDVI (0,48 – 0,60). Pada kelas tutupan semak belukar nilai estimasi cadangan karbon 5,31 dengan nilai NDVI (0,33 – 0,48). Pada kelas tutupan lahan padang rumput nilai estimasi cadangan karbon 0,17 ton/ha dengan nilai NDVI (0,14 – 0,33) dengan total keseluruhan cadangan karbon sebesar 353,26 ton/ha.

DAFTAR PUSTAKA

Apriyanto, D., dan Kusnandar. 2020. Kajian Potensi Dan Strategi Pengembangan Wisata Alam Di Kawasan Hutan Dengan Tujuan

Armi S., Indriani H., Mamad T., dan Irma N. 2008. Dampak Perubahan Iklim Terhadap Ketinggian Muka Laut Di Wilayah Banjarmasin. Jurnal Ekonomi Lingkungan, Bandung.

Azham, Z. 2015. Estimasi Cadangan Karbon Pada Tutupan Lahan Hutan Sekunder, Semak Dan Belukar Di Kota Samarinda. Agrifor. Jurnal Ilmu Pertanian dan Kehutanan, Samarinda.

Cahyo, W. E. 2010. Pengaruh Pemanasan Global Terhadap Lingkungan Bumi. Berita Dirgantara.

Chave. 2005. Tree Allometry And Improved Estimation Of Carbon Stocks And Balance Intropical Forests. Doi Oecologia.

Darmawan, A., Harianto, S. P., Santoso, T., dan Winarno, G. D. 2018. Buku ajar penginderaan jauh untuk kehutanan. Aura Printing, Bandar Lampung.

Hairiah, K., & Rahayu, S. 2007. Pengukuran Karbon Tersimpan Di Berbagai Macam Penggunaan Lahan. World agroforestry centre, Bogor.

Indonesia, S. N. 2011. Pengukuran dan penghitungan cadangan karbon–Pengukuran lapangan untuk penaksiran cadangan karbon hutan (ground based forest carbon accounting). Badan Standarisasi Indonesia. SNI, 7724.

Jauhari, A., Soemarno., Bisri, M., Abidin, Z. 2015. *Model of Sustainable Forest Planning based- Watershed in KPHP Model Tanah Laut South Kalimantan*

Karmila, D., Jauhari, A., & Kanti, R. 2020. Estimasi Nilai Cadangan Karbon Menggunakan Analisis NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) di KHDTK Universitas Lambung Mangkurat. Jurnal Sylva Scientiae.

Krisnawati, H., Adinugroho, W.A., dan Imanuddin, R. 2012. Monograf Model-Model Alometrik Untuk Pendugaan Biomassa Pohon Pada

- Berbagai Tipe Ekosistem Hutan Di Indonesia. Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan Kementerian Kehutanan Indonesia, Bogor.
- Lillesand dan Kiefer. 1990. Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra. Diterjemahkan oleh Dulbahri, Hartono, et al. Fakultas Geografi. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Lukiawan, R., Purwanto, EH, dan Ayundyahrini, M. 2019. Standar dan manfaat koreksi geometris citra satelit resolusi menengah bagi pengguna. *Jurnal Standardisasi*, Jakarta.
- Mahakam, L. A. I., Dwi, S. R., & Kornelia W. 2019. Pemanfaatan Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Senaru Sebagai Sarana Wisata Edukasi Melalui Pengenalan Jenis Vegetasi. *Jurnal Pengabdian Masyarakat*.
- PADANG, Andreas Sugianto, et al. 2023. Estimation Of Aboveground Carbon Stocks In A Special Purpose Forest Area Of Bengkulu University. *Journal of Global Forest and Environmental Science*.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.15/MenLHK/Setjen/Kum.1/2018 tentang Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus, Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus.
- Pramudianto, A. 2016. Dari Kyoto Protocol 1997 hingga Paris Agreement 2015: Dinamika Diplomasi Perubahan Iklim Global Dan ASEAN Menuju 2020. *Global: Jurnal Politik Internasional*.
- Prasetyo, A. 2011. Modul Dasar ArcGIS 10 : Aplikasi Pengelolaan Sumberdaya Alam Bogor. Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Rakhmawati, M. 2012. Pemanfaatan Citra Landsat untuk Estimasi Biomassa Atas Permukaan dari Berbagai Penutupan Lahan dengan Pendekatan Indeks Vegetasi. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Riduwan. 2011. Dasar-dasar Statistika. Alfabeta, Bandung.
- Samidjo, J., dan Suharso, Y. 2017. Memahami pemanasan global dan perubahan iklim. *Online Journal of Ivvet University*.
- Sharifah Sakinah Syed Ahmad, dan Asmala Ahmad. 2016. Classification of Landsat 8 Satellite data Using NDVI Thresholds, *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC)*..
- Sunardi, Nur. 2009. Pengantar Statistika. Jakarta: Bumi Aksara.
- Sugiyono. 2008. *Statistika untuk Penelitian*. Bandung : Alfabeta
- Tomppo, E., Katila, M., Makisara, K., Malimbwi, R., Chamuya, N., Otieno, J., ... & Leppanen, M. 2010. A Report To The Food And Agriculture Organization Of The United Nations (FAO) In Support Of Sampling Study For National Forestry Resources Monitoring And Assessment (NAFORMA) in Tanzania.
- Triana, V. 2008. Pemanasan global. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Andalas*.
- World Health Organization. 2016. Urban Green Spaces And Health. World Health Organization. Regional Office for Europe.
- Wulandari, N. 2020. Penggunaan Metode NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) Dan Savi (Soil Adjusted Vegetation Index) Untuk Mengetahui Ketersediaan Ruang Terbuka Hijau Terhadap Pemenuhan Kebutuhan Oksigen (Studi Kasus: Kota Yogyakarta) (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Nasional Malang).