

ESTIMASI PENYERAPAN KARBON DI KAWASAN HUTAN DENGAN TUJUAN KHUSUS ULM MENGGUNAKAN METODE KLASIFIKASI NDVI DENGAN CITRA SENTINEL 2-MSI

The Estimation of Carbon Sequestration in the Special Purpose Forest Area of ULM Using the NDVI Classification Method with Sentinel-2 MSI

Aditya Ramadhan, Syam'ani, dan Ahmad Jauhari

Program Studi Kehutanan

Fakultas Kehutanan Universitas Lambung Mangkurat

ABSTRACT, Greenhouse gases such as carbon dioxide are significant contributors to global warming, threatening the global climate. Carbon in forest biomass has the potential to reduce GHG emissions. This research aims to develop a biomass model based on NDVI values and field data to estimate carbon sequestration in the ULM Forest Carbon Stock Area. The research utilizes two methods: NDVI and field measurements. Pre-field data management involves image management, image correction, and image clipping for NDVI analysis on the research area map. Sample point determination uses stratified and purposive sampling with a plot size of 20 m × 20 m, totaling 45 sample points. Field observation data collection at tree, pole, pile, understory vegetation, seedlings, and litter levels to assess the forest biomass potential. The research results, based on 38 samples, establish a linear regression model correlation of $715.62x-187.29$ with an R^2 of 0.701 and an RMSE measurement error rate of 41.72 kg/pixel, indicating an average field carbon potential of 217.11 kg/pixel. This shows the highest carbon potential in 2018 at 0.39 ton/pixel and 0.42 ton/pixel in 2022. The developed linear regression model indicates a carbon sequestration of 2585.07 tons or 1.63 tons/ha over a four-year period in the ULM Forest Carbon Stock Area.

Keywords : Biomass, NDVI, Correlation, Carbon Sequestration

ABSTRAK. Gas rumah Kaca (GRK) seperti karbon dioksida menjadi kontributor utama pemanasan global yang mengancam iklim global. Karbon hutan dalam bentuk biomassa memiliki potensi menurunkan emisi GRK. Penelitian ini bertujuan mengembangkan model biomassa antara nilai NDVI dan data lapangan sehingga mengestimasi serapan karbon KHDTK ULM. Metode penelitian menggunakan dua metode NDVI dan pengukuran lapangan. Pengelolaan data pralapangan meliputi pengelolaan citra, koreksi citra, pemotongan citra untuk analisis NDVI pada peta wilayah penelitian. Teknik penentuan titik sampel menggunakan *stratified sampling dan purposive sampling* dengan ukuran plot 20 m × 20 m berjumlah 45 titik sampel. Pengambilan data hasil observasi lapangan pada tingkat pohon, tiang, pancang tumbuhan bawah, semai dan seresah untuk mengetahui potensi biomassa hutan. Hasil penelitian menunjukkan dari 38 sampel yang digunakan membangun korelasi model regresi linier yaitu $715,62x-187,29$ dengan R^2 (0,701) dengan RMSE tingkat eror pengukuran potensi karbon sebesar 41,72 kg/pixel, dengan rata-rata potensi karbon lapangan 217,11 kg/pixel. Menunjukkan potensi karbon terbesar tahun 2018 yaitu 0,39 ton/pixel dan tahun 2022 sebesar 0,42 ton/pixel. Model regresi linier yang dikembangkan menunjukkan penyerapan karbon KHDTK ULM sebesar 2585,07 ton atau 1,63 ton/ha dalam kurun waktu empat tahun.

Kata Kunci: Biomassa, NDVI, Korelasi, Penyerapan Karbon

Penulis untuk korespondensi, surel: r.aditya01217@gmail.com

PENDAHULUAN

Efek gas rumah kaca (GRK) seperti karbondioksida, uap air, dan lainnya menahan panas di atmosfer bumi, hal ini mengakibatkan terjadinya pemanasan global (Deepali et al. 2019). Perubahan iklim sebagai isu yang mendapat perhatian luas oleh manusia dan telah menjadi salah satu

tantangan lingkungan global yang mendesak. Oleh karena itu, perubahan iklim secara global menjadi sorotan dunia (Bharat et al. 2022). Negara-negara industri memiliki kewajiban untuk mengurangi dampak gas rumah kaca. Konvensi Kerangka Kerja PBB tentang perubahan iklim menetapkan prinsip tanggung jawab bersama dan menegaskan bahwa negara-negara industri memiliki tanggung jawab khusus untuk mencegah

gangguan yang merugikan terhadap sistem iklim (Peter et al. 2015.).

Indonesia memiliki peluang untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dengan menetapkan target dalam Kontribusi yang Ditentukan Nasional (NDC) dan mengidentifikasi potensi mitigasi perubahan iklim di beragam sektor, termasuk sektor energi (Muhjidin et al. 2023). Indonesia telah mengkategorikan beberapa sektor dalam Kontribusi yang Ditentukan Nasional (NDC), termasuk salah satunya sektor Kehutanan dan Pemanfaatan Lahan Lainnya (FOLU). Sektor tersebut akan menjadi target untuk menyumbang sebanyak 60% dari total penurunan emisi gas rumah kaca (Pramita, 2023). Kebakaran hutan menyebabkan hilangnya karbon tanah (C), menunjukkan bahwa kebakaran hutan dan lahan dapat menyebabkan penurunan kadar karbon (Marina et al. 2018).

Hutan memiliki peran krusial dalam menurunkan konsentrasi gas rumah kaca, mengatasi pemanasan global, dan menjaga keseimbangan ekosistem sehingga perlu memastikan keberlanjutan pengelolaan biomassa hutan (Yingchang et al. 2022). Kebakaran hutan di kawasan KHDTK ULM (Universitas Lambung Mangkurat) menjadi permasalahan. KHDTK ULM merupakan wilayah yang mengalami sejumlah alih fungsi lahan di beberapa bagian akibat seringnya kebakaran dan aktivitas manusia (Yasmine, 2022). KHDTK ULM berupa hutan alam sekunder memiliki peranan penting dalam mengurangi efek GRK dari penyerapan karbon, namun pengaruh kebakaran hutan dan alih fungsi lahan menjadi fenomena yang memiliki dampak yang signifikan terhadap perubahan potensi karbon KHDTK ULM sehingga perlu adanya perhitungan potensi biomassa hutan untuk mengetahui penyerapan karbon.

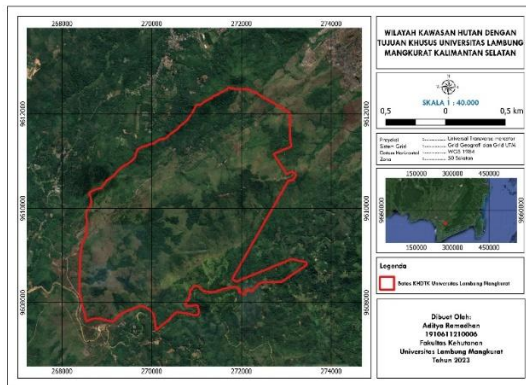
Teknologi penginderaan jauh untuk membantu prediksi potensi biomassa, pemanfaatan teknologi penginderaan jauh, terutama melalui citra satelit, seringkali digunakan sebagai sarana untuk mengestimasi cadangan karbon dan memonitor emisi karbon (Anthony et al. 2022). Teknologi penginderaan jauh digunakan yaitu citra sentinel 2 karena memiliki keunggulan dalam resolusi temporal yang tinggi sehingga dapat menyajikan data dasar salah satunya untuk mengetahui perubahan tutupan lahan. Pemanfaatan citra sentinel 2 menjadi

pertimbangan terbaik karena memiliki tingkat resolusi lebih tinggi dari citra dan kemudahan akses untuk memperoleh citra. Perkembangan sensor Multi-Spectral Instrument (MSI) dari citra sentinel 2 berupa analisis NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) digunakan untuk mengestimasi parameter biofisik seperti tutupan kanopi hutan, biomassa, volume, dan kandungan karbon (Lesika et al. 2018).

NDVI digunakan sebagai parameter perhitungan potensi karbon sebagai variabel (x) untuk menentukan korelasi regresi linier antara NDVI dan nilai kandungan karbon lapangan di KHDTK ULM. Pendugaan potensi karbon KHDTK ULM merupakan upaya mengetahui perubahan penyerapan karbon akibat perubahan lahan pada KHDTK ULM. Mengacu pada penjelasan tersebut, penelitian ini dilakukan dengan tujuan mengestimasi serapan karbon dari hasil permodelan regresi linier antara hasil klasifikasi NDVI dan nilai kandungan karbon lapangan. Harapannya dengan pemanfaatan teknologi penginderaan jauh dapat memperoleh distribusi geospasial penambahan penyerapan karbon di KHDTK ULM untuk mengurangi efek gas rumah kaca kedepannya.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan selama sekitar 6 bulan, mulai bulan Mei sampai November 2023. Penelitian dilakukan di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Universitas Lambung Mangkurat Desa Mandiangin Provinsi Kalimantan Selatan. Wilayah KHDTK ULM Gunung Babaris sendiri terletak di 3°30'10,47" LS – 3°32'58,05" LS dan 114°54'54" BT – 114°57'38,62 BT, Gunung Waringin terletak antara 3°28'33,35" LS – 3°29'1,92" LS dan 114°56'15,72" BT – 114°57'3,1" BT, dengan luas wilayah 1.576,93 ha, sedangkan KHDTK Gunung Waringin memiliki luas wilayah 74,29 ha Lokasi pengambilan sampel yang digunakan disajikan dalam gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian Di KHDTK ULM

Objek penelitian ini adalah biomassa hutan pada tingkat pertumbuhan semai, tumbuhan bawah pancang, tiang, pohon dan seresah. Peralatan penunjang penelitian meliputi GPS (*Global Positioning System*), meteran, tali rafia, kamera laptop, patok, alat tulis, *tallysheet*, amplop coklat, timbangan dan oven. Bahan yang digunakan selama penelitian meliputi citra sentinel-2 perekaman 2018 dan 2022, peta wilayah KHDTK ULM, dan data lapangan.

Penelitian menggunakan dua metode berupa analisis NDVI dan pengukuran data lapangan. Data yang dikumpulkan data primer dan data sekunder. Pengelolaan data primer dilakukan dua tahap yaitu pengelolaan data pra lapangan dan lapangan.

Analisis NDVI menggunakan citra senitel-2 menggunakan aplikasi ArcGIS dengan rumus:

$$NDVI = \frac{B_{And 8} - B_{And 4}}{B_{And 8} + B_{And 4}}$$

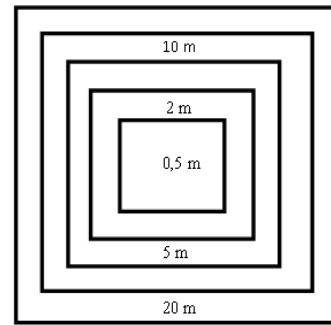
Keterangan:

NDVI = *Normalized Difference Vegetation Indeks*

Band 8 = *Saluran Near-infrared Radiation*

Band 4 = *Saluran Merah*

Penentuan titik sampel menggunakan menggunakan metode stratified sampling dan purposive sampling yaitu penentuan titik sampel berdasarkan rentang NDVI. Penentuan jumlah sampel sebanyak 45 titik diperoleh secara proposional. berdasarkan luasan areal setiap kelas NDVI. Pengukuran biomassa dengan metode pembuatan plot ukuran 20 m × 20 m.



Gambar 2. Contoh Plot Pengamatan

Keterangan:

- Plot ukuran 20 m × 20 m untuk tingkat pohon
- Plot ukuran 10 m × 10 m untuk tingkat tiang
- Plot ukuran 5 m × 5 m untuk tingkat pancang
- Plot ukuran 2 m × 2 m untuk tingkat tumbuhan bawah dan semai
- Plot ukuran 0,5 m × 0,5 m untuk tingkat nekromassa

Pengukuran potensi biomassa dilakukan dengan menggunakan persamaan *allometrik*. Pengambilan data dengan pengukuran diameter vegetasi tingkat pancang hingga pohon setinggi dada atau 1,3 m dan tinggi total tegakan. Pengukuran biomassa di hutan menggunakan nilai kerapatan kayu secara umum yaitu 680 kg/m³ (Rahayu et al. 2007). Pengambilan sampel semai, tumbuhan bawah dan seresah diperoleh menggunakan perhitungan total berat kering dengan cara dioven contoh sampel seberat 200 gram dengan suhu 70° – 85 °C sampai sampel kering tanur di laboratorium (BSN, 2011).

Pendugaan Biomassa vegetasi dan karbon tersimpan berdasarkan aturan SNI 7724:2011 menggunakan rumus sebagai berikut:

$$M = BJ \times VK \times BEF$$

Keterangan:

M = Total biomassa (kg)

BJ = Berat jenis kayu 680 kg/m³

VK = Volume kering (m)

BEF = *Biomassa eksfaktion factor* (1,3)

Perhitungam biomassa tumbuhan bawah, semai dan seresah menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Total Bk (kg)} = \frac{Bk \text{ sub contoh (kg)}}{Bb \text{ sub contoh (kg)}} \times \text{Total BB (kg)}$$

Keterangan:

Bk = Berat kering

BB = Berat basah

Perhitungan karbon dari total biomassa menggunakan rumus berdasarkan aturan SNI 7724:2011:

$$C = B \times \% C_{\text{organic}}$$

Keterangan:

C = Karbon dari biomassa (kg)

B = Biomassa (kg)

C_{organic} = Persentase karbon bahan organik (0,47)

Pengelolaan data dan analisis data dilakukan analisis korelasi regresi linier. Korelasi nilai NDVI dengan potensi karbon dengan membuat persamaan regresi linier sebagai berikut:

$$Y = a + bX$$

Keterangan:

Y = Variabel terikat

X = Variabel bebas

a = Konstanta

b = Koefisien regresi

Uji akurasi keakuratan hasil estimasi menggunakan metode Root Mean Square Error (RMSE), sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - y_i)^2}{n}}$$

Keterangan:

x_i = Data biomassa faktual pada plot yang ke-i

y_i = Data biomassa pada plot yang ke-i hasil estimasi dari permodelan

n = Jumlah plot

Perhitungan serapan karbon, selisih antara potensi karbon sebagai berikut:

Serapan Karbon

$$(S.K) = C.K1 - S.C.K2$$

Keterangan:

C.K 1 = Potensi karbon tahun 2022 (ton)

C.K 2 = Potensi karbon tahun 2018 (ton)

S.K = Serapan karbon (ton)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model Estimasi Biomassa Potensi Karbon

Biomassa hutan dapat digunakan untuk memperkirakan potensi karbon yang tersimpan menggunakan fungsi *allometrik*. Nilai biomassa hutan dipengaruhi kerapatan dan besarnya diameter tegakan. Besarnya diameter pohon mempengaruhi penyimpanan biomassa yang berpengaruh terhadap penyimpanan kandungan karbon (Syam'ani *et al.* 2012). Nilai NDVI negatif mengindikasikan tingkat vegetasi yang rendah, sementara nilai NDVI positif menandakan tingkat vegetasi hijau yang tinggi (Jauhari *et al.* 2020). Hasil analisis NDVI, wilayah KDHTK ULM termasuk dalam kategori wilayah yang cukup lestari karena memiliki nilai NDVI tertinggi 0,850 dan terendah - 0,034 berdasarkan hasil citra sentinel-2 perekaman 2022, sedangkan hasil analisis NDVI menggunakan citra sentinel-2 perekaman 2018 memiliki nilai tertinggi 0,818 dan terendah - 0,092 pengelolaan citra sentinel-2 menggunakan *raster calculator* di ArcMap.

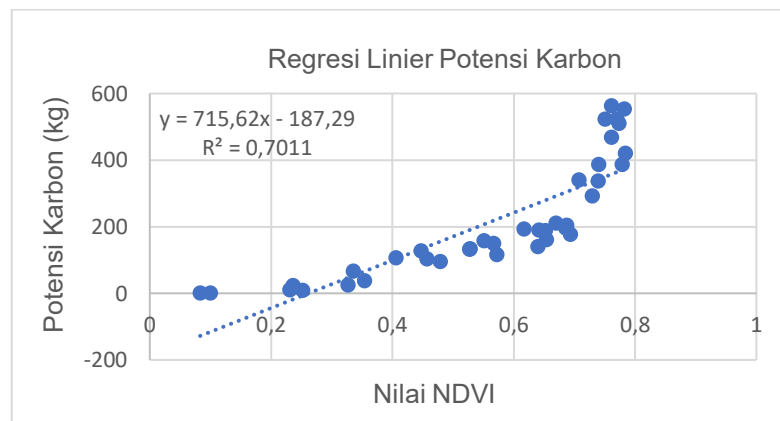
Nilai NDVI yang diperoleh menunjukkan semakin mendekati 1 maka tingkat kehijauan semakin tinggi, sehingga diketahui bahwa kondisi lahan tersebut didominasi oleh hutan sekunder muda dan hutan sekunder tua berdasarkan klasifikasi NDVI. Pengamatan terhadap jumlah potensi karbon atas permukaan tanah pada tingkat permudaan semai, pancang, tiang, pohon hingga tumbuhan bawah dan seresah menggambarkan masing masing potensi (C-ter simpan) diatas permukaan tanah (Aryanto *et al.* 2015). Pengamatan potensi biomassa dilakukan berdasarkan jumlah titik sampel sebagai berikut:

Tabel 1. Jumlah Titik Sampel

Kelas NDVI	Luas (Ha)	Jumlah Titik Sampel
0,0-0,1	0,4	1
0,1-0,2	11,23	3
0,2-0,3	15,01	4
0,3-0,4	22,39	4
0,4-0,5	84,57	5
0,5-0,6	170,61	6
0,6-0,7	479,13	9
>0,7	793,59	13
Total	1576,93	45

Tabel 1 menyajikan jumlah titik sampel pengamatan. Hasil pengukuran biomassa yang diperoleh dari 45 sampel dilapangan yang dipilih dengan proposional dengan ukuran 20 m × 20 m. Data biomassa yang telah diperoleh dilapangan diolah menggunakan allometric selanjutnya diubah menjadi potensi karbon, sehingga diperoleh rata-rata potensi karbon 201,65 kg. Potensi karbon tertinggi berada pada kawasan yang memiliki NDVI yang tinggi, sedangkan potensi biomassa karbon terendah berada pada kawasan yang memiliki nilai NDVI rendah. Tingkat vegetasi seperti tegakan memiliki potensi penyimpanan karbon lebih besar karena volume yang dimiliki tegakan yang besar maka potensi biomassa semakin besar pula berdasarkan observasi lapangan kawasan yang memiliki NDVI yang tinggi didominasi oleh pepohonan yang memiliki diameter yang besar.

Tanah tanpa vegetasi memiliki dampak yang signifikan terhadap kemampuan penyimpanan karbon. Lahan tandus tanpa vegetasi memberikan dampak penurunan penyimpanan karbon di ekosistem (Huang *et al.* 2023). KHDTK ULM dengan nilai NDVI (0,0-0,2) dengan luasan 15, 23 ha merupakan lahan terbuka dengan beberapa jenis vegetasi tingkat pancang seperti jambu mette, akasia dan didominasi oleh rumput dan semak belukar. Model korelasi yang dikembangkan berupa NDVI dan potensi karbon untuk mengetahui seberapa berpengaruh variabel bebas dalam menentukan permodelan spasial semakin mendekati angka 1 maka korelasi antara NDVI dan potensi karbon semakin linier. Membangun model korelasi menggunakan 38 sampel untuk dijadikan acuan permodelan korelasi regresi linier.



Gambar 3. Grafik Linier Korelasi NDVI Dengan Potensi Karbon

Gambar 3 menyajikan korelasi antara NDVI dan potensi karbon (kg). Nilai Koefisien 715,62, nilai konstanta 187,29 dan nilai koefisien (R^2) 0,7001. Grafik menunjukkan hubungan NDVI dengan potensi karbon berbanding lurus artinya apabila nilai NDVI

meningkat maka potensi karbon meningkat. Adapun hasil analisis korelasi regresi linier antara NDVI dan data lapangan dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Korelasi Antara Nilai Kelas NDVI Dengan Potensi karbon

Variabel	Model	Persamaan	Koefisien Korelasi (R^2)
Regresi Linier Kelas NDVI dan Potensi Karbon	Linier	$715,62x - 187,29$	0,7011

Tabel 2 menyajikan hasil korelasi antara NDVI dan potensi karbon. Nilai korelasi (R^2) mencapai 0,7 yang memiliki korelasi yang baik. Diperkuat menurut (Yaya *et al.* 2005) nilai korelasi ($r < 0,7$) artinya berhubungan lemah, sehingga permodelan yang diinginkan kontinu dan terdistribusi normal. Menciptakan

korelasi permodelan yang akurat perlu dilakukan uji RMSE disetiap nilai NDVI di seluruh kawasan NDVI untuk mengetahui besaran kesalahan saat estimasi. Adapun hasil RMSE yang terbentuk dilihat pada tabel 3.

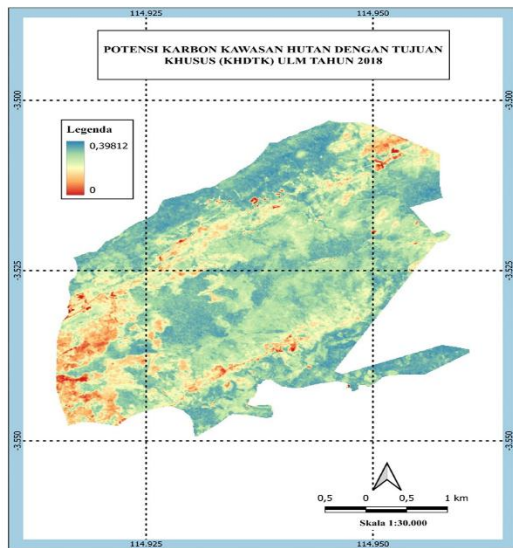
Tabel 3. Hasil Pengukuran Nilai RMSE

No.	NDVI	Potensi Karbon (kg)	Potensi Karbon Estimasi (kg)	Selisih Kuadrat (kg)
1	0,19	0,15	-51,32	2649,44
2	0,28	7,00	13,08	37,02
3	0,347	17,97	61,03	1854,34
4	0,425	108,04	116,85	77,52
5	0,506	141,46	174,81	1112,25
6	0,65	200,29	277,86	6017,19
7	0,72	348,89	327,96	438,02
Rata- Rata				1740,83
RMSE				41,72

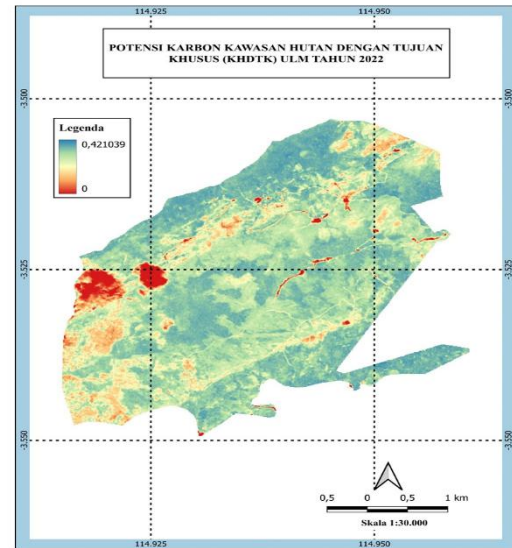
Tabel 3 menyajikan nilai RMSE dari permodelan linier antara NDVI dan potensi karbon sebesar 41,72 kg atau 2,4 %. Diperkuat menurut (Ismanto *et al.* 2019) bahwa nilai RMSE dibawah 25% dapat diterima. Hasil selisih kuadrat RMSE dianggap kecil karena berdasarkan potensi karbon lapangan yang rata-rata mencapai 217,11 kg. Sehingga persamaan regresi linier dapat digunakan untuk mengestimasi distribusi karbon di seluruh area penelitian. Namun pada NDVI 0,1-0,2 potensi karbon yang didapatkan menjadi negative (-). Sehingga model regresi tidak dapat secara akurat memprediksi atau menjelaskan data ketika nilai NDVI rentang (0,1-0,2).

Hasil Permodelan Pendugaan Serapan Karbon

Pengembangan model berdasarkan klasifikasi NDVI dan potensi karbon lapangan untuk memproyeksikan serapan karbon di seluruh area KHDTK ULM adalah bagian dari permodelan potensi karbon lapangan. Pembuatan permodelan pendugaan serapan karbon menghasilkan transformasi NDVI yang telah terkoreksi data lapangan yang digunakan untuk permodelan yaitu ($715,62x - 187,29$) dengan nilai x berupa NDVI KHDTK keseluruhan. Permodelan menggunakan *raster calculator* untuk analisis spasial potensi karbon tahun 2022 dan 2018. Hasil permodelan potensi karbon KHDTK ULM tahun 2018 dan 2022 dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Potensi Karbon 2018



Gambar 5. Potensi Karbon 2022

Gambar 4 dan 5 menyajikan hasil permodelan potensi karbon diketahui KDHTK ULM pada tahun 2018 memiliki potensi karbon maksimal 0,39 ton/pixel dan tahun 2022 potensi karbon maksimal hingga 0,42 ton/pixel, hasil ton/pixel merupakan konversi dari data pangangan kg/pixel menggunakan *raster calculator*. Potensi minimal pada tahun 2018 dan 2022 adalah 0 ton/pixel karena

persamaan permodelan yang digunakan tidak mampu mengestimasi potensi pada kelas NDVI (0,1-0,2). Namun kenyataannya pada kelas NDVI tersebut terdapat beberapa jenis tumbuhan bawah, semai dan seresah maka dari itu hasil potensi karbon dijadikan 0 ton/pixel. Perhitungan besaran potensi karbon keseluruhan wilayah KHDTK ULM tahun 2018 dan 2022 pada tabel 4 dan 5.

Tabel 4. Potensi Karbon KDHTK ULM Citra Sentinel-2 2022

No.	NDVI	AREA (ha)	STD	Potensi Karbon Tahun 2022 (ton)
1	0,0-0,1	0,4	0,000	0,00
2	0,1-0,2	11,23	0,000	0,00
3	0,2-0,3	15,01	0,008	8,41
4	0,3-0,4	22,39	0,021	153,73
5	0,4-0,5	84,57	0,019	1206,86
6	0,5-0,6	170,61	0,020	3572,39
7	0,6-0,7	479,13	0,019	13626,18
8	>0,7	793,59	0,018	27486,47
Jumlah		1576,93		46054,06

Tabel 4 menyajikan total potensi karbon diatas permukaan di KHDTK ULM. Hasil menunjukkan kawasan yang memiliki nilai NDVI dengan luasan yang kecil memiliki potensi karbon yang kecil dan semakin besar nilai NDVI besar dengan luas areal yang besar maka potensi karbon yang dimiliki semakin besar pula. Pernyataan tersebut berbanding lurus dengan hasil pengelolaan

data. Potensi karbon pada tahun 2022 di NDVI (0,0-0,3) memiliki jumlah potensi karbon 8,41 ton sedangkan potensi karbon pada kelas NDVI (>0,7) memiliki potensi yang sangat besar 27486,47 ton dengan potensi Potensi karbon KHDTK ULM pada tahun 2022 secara keseluruhan sebesar 46056,06 ton atau 29,204 ton/ha.

Tabel 5. Potensi Karbon KHDTK ULM Citra Sentinel-2 2018

No.	NDVI	AREA (ha)	STD	Potensi Karbon Tahun 2018 (ton)
1	0,0-0,1	0,4	0,000	0,00
2	0,1-0,2	11,23	0,000	0,00
3	0,2-0,3	15,01	0,010	4,04
4	0,3-0,4	22,39	0,018	235,87
5	0,4-0,5	84,57	0,020	1721,36
6	0,5-0,6	170,61	0,020	5117,56
7	0,6-0,7	479,13	0,019	16872,02
8	>0,7	793,59	0,015	19518,13
Jumlah		1576,93		43468,99

Tabel 5 menyajikan potensi karbon tahun 2018, hasil pengelolaan data menunjukkan hal yang sama pada potensi karbon pada tahun potensi karbon terbesar berada pada kelas NDVI (>0,7) memiliki kerapatan yang tinggi sehingga potensi karbon sebesar 19518,13 ton sedangkan penyimpan potensi karbon terkecil pada kelas NDVI (0,0-0,3) sebesar 4,04 ton karena memiliki kerapatan yang rendah. Potensi karbon secara keseluruhan sebesar 43468,99 ton atau 27,565 ton/ha. Sesuai dengan pernyataan Yastori (2016) bahwa sebuah sistem penggunaan lahan yang mencakup pohon-pohon dengan spesies yang memiliki tingkat kerapatan kayu yang tinggi akan memiliki jumlah biomassa yang lebih besar dibandingkan dengan lahan yang memiliki spesies dengan tingkat kerapatan kayu yang rendah.

Potensi penyerapan karbon KHDTK ULM dari tahun 2018 hingga 2022 diketahui dengan hasil pengurangan potensi karbon tersebut sehingga diperoleh potensi penyerapan karbon sebesar 2585,07 ton atau 1,63 ton/ha. Hasil penyerapan tersebut diperkirakan terjadi penambahan penyerapan karbon di KHDTK ULM setiap tahunnya sebesar 646,267 ton atau 0,409 ton/ha. Menurut Hairiah dalam Anonim (2013) potensi penyerapan karbon oleh suatu ekosistem bergantung pada karakteristik ekosistem tersebut, termasuk komposisi jenis, struktur, dan distribusi umur, terutama ketika berbicara tentang hutan.

Penyimpanan karbon di hutan dapat dipengaruhi oleh keragaman jenis komunitas hutan (Erin *et al.* 2023). Nilai Standar Deviasi (STD) dari NDVI kedua citra sentinel-2 diketahui bahwa kawasan NDVI yang rendah mencerminkan tingkat variasi sangat kecil karena merupakan wilayah tidak berhutan. Kawasan NDVI tinggi memiliki tingkat variasi yang besar karena merupakan areal berhutan

baik hutan sekunder hingga hutan sekunder tua. Wilayah KHDTK ULM didominasi oleh hutan, sehingga hasil permodelan potensi karbon dari dua citra Sentinel-2 yang berbeda menunjukkan potensi karbon yang cukup besar.

Penambahan penyerapan karbon di KHDTK ULM memberikan kontribusi positif terhadap upaya mengurangi pemanasan global. Oleh karena itu, keberhasilan KHDTK ULM dalam menyerap karbon menjadi aspek penting dalam konteks pelestarian lingkungan. Sehingga hal tersebut menjadi inspirasi dan contoh lain tentang pentingnya menjaga kelestarian hutan dalam penurunan emisi gas rumah kaca.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan korelasi dari model regresi linier yang dibangun antara klasifikasi NDVI dan potensi karbon lapangan memiliki korelasi yang kuat dan faktor koreksi RMSE yang kecil sehingga model dapat digunakan untuk estimasi potensi karbon KHDTK ULM berdasarkan citra sentinel 2 perekaman 2022 dan 2018. Hasil model regres linier tersebut menunjukkan kondisi hutan alam sekunder terjaga kelestariannya dari perubahan lahan yang tidak signifikan hal ini ditandai terjadinya penambahan potensi penyerapan karbon empat tahun terakhir pada kawasan KHDTK ULM menjadi aspek penting dalam konteks pelestarian lingkungan dalam penurunan emisi GRK.

Saran

Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengevaluasi estimasi penyerapan karbon dengan mempertimbangkan metode dan

model korelasi alternatif seperti regresi nonlinier. Hal ini bertujuan untuk memperoleh model terbaik sesuai dengan analisis korelasi yang dilakukan, sehingga hasil yang diperoleh dapat mengetahui besaran nilai penyerapan karbon di KHDTK ULM lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Anthony, Campbell., Temilola, Fatoyinbo., Sean, P., Charles., Laura, L., Bourgeau-Chavez., Joaquim, I., Goes., Helga, do, Rosario, Gomes., Meghan, Halabisky., James, R., Holmquist., Steven, E., Lohrenz., Catherine, Mitchell., L., Monika, Moskal., Benjamin, Poulter., Han, Qiu., Celio, H, Resende, De, Sousa., Michael, J., Sayers., Marc, Simard., A., J., Stewart., Debjani, Singh., Carl, C., Trettin., Jinghui, Wu., Xuesong, Zhang., David, Lagomasino. 2022. *A review of carbon monitoring in wet carbon systems using remote sensing*.
- Anonim. 2013. Cadangan Karbon pada Berbagai Tipe Hutan dan Jenis Tanaman di Indonesia. Kementerian Kehutanan. Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim dan Kebijakan.
- Bharat, H., Desai. 2022. *Regulating Global Climate Change: From Common Concern to Planetary Concern*.
- Boreel, A., Loppies, R., Tetelay, F. F., & Tetelay, F. F. 2015. Pendugaan Cadangan Karbon Atas Permukaan Tanah Pada Tipe Penggunaan Lahan Dusung Di Pulau Ambon. *Jurnal Hutan Tropis*, 3(3), 214-221
- Deepali, Wankhede. 2019. *Impact of Greenhouse Gases on Global Warming. Journal of emerging technologies and innovative research*.
- Erin, T.H., Crockett., Jeff, W., Atkins., Qinfeng, Guo., G., Sun., Kevin, M., Potter., Scott, V., Ollinger., Carlos, A., Silva., Hao, Tang., Christopher, W., Woodall., Justin, Holgerson., Jingfeng, Xiao. 2023. *Structural and species diversity explain aboveground carbon storage in forests across the United States: Evidence from GEDI and forest inventory data*.
- 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*, 3(3), 451–459.
- Lesika, Basalumi., Charles, Joseph, Kilawe., Ernest, William, Mauya. (2018). *Linking Ground Forest Inventory and NDVI in Mapping above Ground Carbon Stock in Kasane Forest Reserve, Botswana*.
- Marina, Nadporozhskaya., Oleg, Chertov., S., S., Bykhovets., Cindy, Shaw., Ekaterina, Maksimova., Evgeny, Abakumov. 2018. *Recurring surface fires cause soil degradation of forest land: A simulation experiment with the EFIMOD model*.
- Muhjidin, Mawardi., Winanti, Winanti., Teddy, Sudinda., Khaerul, Amru., Atina, Saraswati., Suhendar, I., Sachoemar., Zainal, Arifin., Achmad, Alimin. 2023. *Analysis of net-zero emission index for several areas in Indonesia using individual carbon footprint and land use covered*.
- Peter, C., Frumhoff., R., Heede., Naomi, Oreskes. 2015. *The climate responsibilities of industrial carbon producers*.
- Pramita, Kadek Desy & Yulianti, Ni Putu Rai. 2023. Implementasi Ratifikasi Paris Agreement Oleh Indonesia Dan Pengaruhnya Terhadap Kebijakan Perekonomian Indonesia. *Jurnal Komunikasi Hukum*: 469-706.
- Rahayu, S., B. Lusiana, dan M. Van Noordwijk. 2007. Penggunaan Cadangan Karbon di Atas Tanah pada Berbagai Sistem Penggunaan Lahan di Kabupaten Nunukan, Kalimantan Timur. Laporan Tim Proyek Pengelolaan Sumberdaya Alam untuk Penyimpanan Karbon (FORMACS). *World Agroforestry Centre (ICRAF)*.
- SNI. 2011. Standar Nasional Indonesia Nomor 7724. Pengukuran dan Perhitungan Cadangan Karbon – Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Syam'ani, Agustia, A., Susilawati, & Nugroho, Y. 2012. Cadangan Karbon di Atas Permukaan Tanah Pada Berbagai Sistem Penutupan Lahan di Sub-Sub DAS Amandit. *Jurnal Hutan Tropis*. Vol. 13 No. 2 hal: 148158. Fakultas Kehutanan. Universitas Lambung Mangkurat. Kalimantan Selatan.

- Wei, Huang., Bin, Xu., Fusheng, Chen., Ying, Zong., Xiaoqin, Duan., Guangyin, Zhang., Ziyue, Wu., Xiang-Min, Fang. 2023. *The effects of vegetation type on ecosystem carbon storage and distribution in subtropical plantations. Frontiers in forests and global change.*
- Yasmine, W. H., Jauhari, A., & Pitri, R. M. N. 2022. Analisis Korelasi Nilai Normalized Difference Vegetation Index (Ndvi) Dengan Suhu Permukaan Tanah Di Khdtk Universitas Lambung Mangkurat. *Jurnal Sylva Scienteeae*, 5(5), 793-801.
- Yastori, Chairul, Syamsuardi, Mansyurdin & Maideliza, T. 2016. Keanekaragaman Jenis Tumbuhan dan Pendugaan Cadangan Karbon di Atas Permukaan Tanah di Kawasan Hutan Bukit Barisan Bagian Barat Kota Padang. *Metamorfosa. Journal of Biological Sciences*, 3(2): 65– 73.
- Yaya IU, Sulistyawati E, Hakim DM, dan Harto AB. 2005. Korelasi Stok Karbon Dengan Karakteristik Spektral Citra Landsat: Studi Kasus Gunung Papandayan. Di dalam: Pertemuan Ilmiah Tahunan MAPIN XIV; Gedung Rektorat It. 3 Kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 14-15 September 2005. Surabaya. 1-12.
- Yingchang, Li., Mingyang, Li., Yuehui, Wang. (2022). *Forest Aboveground Biomass Estimation and Response to Climate Change Based on Remote Sensing Data.*