

ESTIMASI CADANGAN KARBON MENGGUNAKAN CITRA SATELITE SENTINEL – 2 MSI

Carbon Stock Estimation Using Sentinel-2 MSI Satellite Imagery

Ratih Nur Islamiah, Ahmad Jauhari, dan Abdi Fithria

Program Studi Kehutanan
Fakultas Kehutanan Universitas Lambung Mangkurat

ABSTRACT. Estimating carbon stock in tropical rainforests is an important indicator of environmental health, and increasingly important in the era of climate change mitigation. In this study, we used Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) classification on Sentinel-2 MSI imagery to estimate carbon reserves in the tropical rainforest of the Special Purpose Forest Area (KHDTK) of Lambung Mangkurat University. Sentinel 2 MSI satellite imagery was used to obtain information on NDVI values and land cover, while NDVI classification was used to connect this information with field data on carbon reserve calculations. The results of the study based on NDVI classification values in KHDTK varied between 0.0716 and 0.83424, consisting of five land cover classes: open land, shrubs, plantations or young secondary forests, intermediate secondary forests, and mature secondary forests. The carbon stock was obtained from 47% of the biomass calculated using existing allometric equations, with biomass measurements taken on trees with a diameter of 10 centimeters or more. The five land cover classes classified yielded a carbon stock of 6.05 tons/ha for open land, 13.40 tons/ha for shrubs, 21.04 tons/ha for young secondary forests, 39.56 tons/ha for intermediate secondary forests, and an estimated carbon reserve size of 49.44 tons/ha for mature secondary forests.

Keywords: Carbon; Landcover; NDVI; Sentinel 2 MSI

ABSTRAK. Estimasi cadangan karbon pada hutan hujan tropis merupakan salah satu indikator penting dalam mengukur kesehatan lingkungan dan semakin penting dalam era mitigasi perubahan iklim. Dalam penelitian ini, menggunakan klasifikasi *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) pada citra Sentinel-2 MSI untuk mengestimasi cadangan karbon pada hutan hujan tropis di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Universitas Lambung Mangkurat. Citra satellite Sentinel 2 MSI digunakan untuk mendapatkan informasi nilai NDVI dan tutupan lahan, sedangkan klasifikasi NDVI digunakan untuk menghubungkan informasi tersebut dengan data lapangan perhitungan cadangan karbon. Hasil penelitian berdasarkan klasifikasi nilai *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) di KHDTK memiliki nilai bervariasi antara 0.0716 hingga 0.83424, terdiri dari lima kelas tutupan lahan yaitu lahan terbuka, semak, perkebunan atau hutan sekunder muda, hutan sekunder sedang dan hutan sekunder tua. Besar cadangan karbon diperoleh dari 47 % biomassa yang dihitung dengan persamaan allometric yang sudah ada, pengukuran biomassa dilakukan pada diameter pohon 10 centimeter ke atas. Lima kelas tutupan lahan yang diklasifikasi diperoleh besar cadangan karbon untuk lahan terbuka 6.05 ton/ha, semak 13.40 ton/ha, Hutan sekunder muda 21.04 ton/ha, hutan sekunder sedang 39.56 ton/ha dan estimasi cadangan karbon hutan sekunder tua sebesar 49.44 ton/ha.

Kata kunci: Karbon; Tutupan lahan; NDVI; Sentinel 2 MSI

Penulis untuk korespondensi, surel: ratihnurislamiah28@gmail.com

PENDAHULUAN

Hutan Kalimantan merupakan hutan hujan tropis dengan banyak jenis tumbuhan berkayu yang mampu menyimpan karbon. Pentingnya menjaga kelestarian hutan sebagai penyerap karbon sangatlah krusial. Kebakaran hutan yang terjadi di banyak hutan Kalimantan menjadi masalah serius yang dapat mengancam sumber daya dan ekosistem

hutan serta mengganggu siklus karbon di atmosfer. Salah satu kawasan hutan dengan tujuan khusus (KHDTK) di Kalimantan Selatan memiliki ragam variasi tutupan lahan, yang dapat memicu terjadinya kebakaran.

Masalah Kebakaran Hutan merupakan masalah serius di Indonesia terutama pada musim kemarau yang berdampak besar pada sumber daya hutan dan ekosistemnya. Kebakaran hutan dapat mengakibatkan hilangnya potensi kayu, terganggunya

ekosistem hutan, musnahnya satwa liar, dan perubahan sifat fisik dan kimia tanah. Selain itu, kebakaran hutan juga dapat mengganggu siklus karbon di atmosfer dan menyebabkan kerusakan lingkungan lainnya.

Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK), hutan hujan tropis yang terletak di Kalimantan Selatan, Indonesia, memiliki berbagai tipe tutupan lahan, termasuk vegetasi sangat rapat, rapat, sedang, dan sangat jarang. Jenis tutupan lahan yang bervariasi menghasilkan bahan bakar yang melimpah untuk kebakaran hutan. Perubahan klasifikasi tutupan lahan terjadi karena kegiatan rehabilitasi yang dilakukan oleh departemen kehutanan, fakultas kehutanan, dan organisasi pihak ketiga lainnya, mempengaruhi potensi cadangan kayu dan karbon. Selain itu, pembangunan fasilitas pariwisata di kawasan tersebut dapat menyebabkan peningkatan risiko longsor di bagian tertentu.

Perubahan luas tutupan lahan dan potensi kayu yang ada dapat berdampak pada cadangan karbon yang ada dalam hutan, baik akibat kebakaran hutan ataupun penebangan. Oleh karena itu, perlu dilakukan tindakan nyata untuk menjaga kelestarian karbon hutan. Salah satu tindakan yang dapat dilakukan adalah dengan memetakan sebaran biomassa dan memantau perubahan atau dinamika biomassa hutan secara berkesinambungan. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan persamaan alometrik untuk mengestimasi parameter biofisik spesifik masing-masing pohon secara langsung di lapangan. Namun, teknologi penginderaan jauh dapat membantu pendugaan parameter biofisik hutan secara besar-besaran dengan hasil yang dapat dipertanggungjawabkan. Misalnya, teknologi ini dapat digunakan untuk pendugaan volume, kerapatan pohon, persentase tutupan kanopi, serta biomassa hutan dan cadangan karbon. Dengan memantau biomassa hutan secara berkesinambungan dengan teknologi penginderaan jauh, maka dapat dilakukan pengambilan keputusan yang tepat dalam menjaga kelestarian karbon hutan dan mencegah terjadinya kerusakan lingkungan.

Teknologi penginderaan jauh telah mengalami kemajuan yang signifikan saat ini. Saat ini, tersedia citra satelit beresolusi tinggi secara bebas, yang memiliki resolusi spasial dan temporal yang memadai. Salah satu produk teknologi penginderaan jauh yang

populer saat ini adalah citra Sentinel-2 Multispectral Instrument (MSI) yang dimiliki oleh European Space Agency (ESA). Citra Sentinel-2 memiliki resolusi spasial 10 meter dan merekam intensitas setiap lima hari di lokasi yang sama, sehingga memungkinkan untuk melakukan pemantauan suatu area setiap lima hari secara teoritis. Karena fitur-fiturnya, Sentinel-2 sangat potensial untuk digunakan dalam mengestimasi parameter biofisik hutan, seperti volume hutan dan biomassa. Beberapa penelitian telah dilakukan menggunakan citra Sentinel-2 untuk mengestimasi parameter biofisik hutan.

Metode penginderaan jauh merupakan pendekatan yang paling efektif untuk mengestimasi biomassa dan cadangan karbon pada tingkat yang masuk akal, terutama ketika data tentang tegakan hutan sulit diperoleh di lapangan. Saat ini, pengukuran biomassa untuk melakukan inventarisasi, pemantauan, dan pengelolaan hutan dapat dilakukan dengan menggunakan pengukuran lapangan berupa sampel plot, yaitu dengan mengukur diameter pohon setinggi dada (DBH). Namun, pengukuran secara terestrial dianggap kurang efektif karena memerlukan waktu dan biaya yang relatif besar. Oleh karena itu, penggunaan teknologi penginderaan jauh semakin berkembang untuk mengestimasi parameter biofisik hutan, seperti biomassa dan cadangan karbon.

Estimasi cadangan karbon di KHDTK dapat dilakukan dengan mengukur kandungan karbon satuan-satuan penggunaan lahan dan data penutupan lahan dari hasil klasifikasi dari citra penginderaan jauh. Oleh karena itu, pentingnya memantau dan mengelola biomassa hutan untuk memperkirakan simpanan karbon secara akurat. Penelitian ini bertujuan untuk mengklasifikasikan tutupan lahan di KHDTK ULM dengan nilai NDVI pada citra Sentinel 2 MSI dan mengestimasi besar cadangan karbon pada tegakan pohon berdiameter 10 cm ke atas yang ada pada tutupan lahan di KHDTK ULM. Pada akhirnya nanti diharapkan akan terbentuk peta tutupan lahan Kawasan hutan dengan tujuan khusus (KHDTK) ULM, sehingga memberikan pengetahuan dan informasi keragaman tutupan lahan dan besar cadangan karbon di atas permukaan berdasarkan klasifikasi nilai NDVI citra Sentinel 2 pada KHDTK ULM Mandiangin.

METODE PENELITIAN

Penelitian estimasi cadangan karbon menggunakan citra sentinel 2 MSI dilakukan di Gunung Babaris daerah Bukit Mandiangin pada Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) ULM, sedangkan pengolahan data Citra Satelite Sentinel 2 di lakukan di Laboratorium Manajemen Hutan Fakultas Kehutanan ULM Banjarbaru (Lab SIG). Waktu yang diperlukan untuk penelitian ini ± 3 bulan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu peta lokasi penelitian, GPS untuk mengambil titik lokasi tiap plot sampel, Hagameter untuk mengukur tinggi pohon, Phiban untuk mengukur keliling pohon, seperangkat computer dengan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG). Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu data Citra Sentinel-2 MSI, data pengukuran diameter pohon 10 cm ke atas dan tinggi pohon seta *shapefile* batas administrasi KHDTK ULM.

Prosedur penelitian yang dilakukan menggunakan analisis geospasial pada Citra Sentinel 2, meliputi pengumpulan data Citra Sentinel 2, pengolahan data untuk mengetahui nilai NDVI, klasifikasi tutupan lahan, observasi lapangan, pengambilan data diameter dan tinggi pohon dilapangan serta pengolahan data (nilai karbon).

Pengolahan Data Citra Sentinel-2 MSI Sebelum Kelapangan

Pengolahan data meliputi: (1) Pengunduhan citra sentinel 2 pada laman

earthexplorer.usgs.gov menentukan wilayah dan menentukan tanggal perekaman citra yang ingin diunduh sesuai keperluan. (2) Koreksi citra yang sudah diunduh dilakukan koreksi atmosfer menggunakan *Semi Automatic Classification Plugin* yaitu plugin yang terdapat pada QGIS pada bagian pre-processing. Koreksi citra dilakukan untuk mengoreksi data tunggal Sentinel 2 level 1C ToA (*Top Of Atmosphere*) ke level 2-A yaitu BoA (*Bottom Of Atmosphere*). Karena pada citra Sentinel 2 level 1-C baru terkoreksi sampai reflektan TOA. (3) Pemproses data Citra Sentinel 2 yang telah dikoreksi dilakukan pengolahan data untuk klasifikasi NDVI pada perangkat lunak ArcMap 10.4 menggunakan *toolbox raster calculate* dengan memasukkan rumus berikut.

$$NDVI = \frac{PNIR - PRed}{PNIR + PRed}$$

Jika diimplementasikan pada citra Sentinel2 maka formula NDVI menjadi

$$NDVI = \frac{band\ 8 - band\ 4}{band\ 8 + band\ 4}$$

(4) Pemotongan citra menurut batas areal KHDTK dengan metode masking pada ArcMap, dengan data *input raster* yaitu hasil transformasi NDVI dan *feature mask data* poligon KHDTK ULM. Pemotongan citra bertujuan untuk mendapatkan daerah penelitian dengan maksud untuk mendapatkan data yang lebih fokus dan detail. (5) Klasifikasi nilai NDVI dilakukan pada ArcMap dengan tool *Classification* yang terdapat pada ArcToolBox *Spatial Analyst Tools*.

Tabel 1. Klasifikasi Nilai NDVI

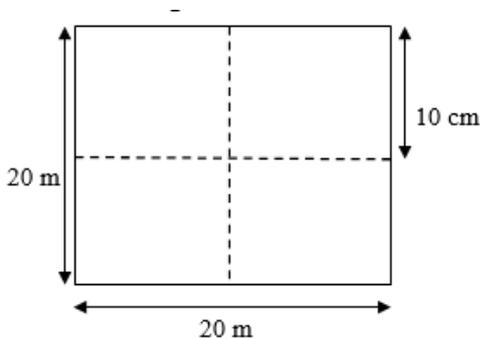
| No | Nilai NDVI | Kerapatan | Tutupan Lahan |
|----|------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| 1 | 0-0.3 | Lahan Terbuka | Lahan Terbuka |
| 2 | 0.3-0.5 | Lahan Terbuka-Vegetasi Sangat Jarang | Semak |
| 3 | 0.5-0.6 | Vegetasi Sangat Jarang-jarang | Perkebunan/Hutan Sekunder Muda |
| 4 | 0.6-0.7 | Vegetasi Jarang-Sedang | Hutan Sekunder Sedang |
| 5 | 0.7-1 | Vegetasi Sedang – Rapat | Hutan Sekunder Tua |

Pengambilan Data Lapangan

Data di lapangan diambil dengan menggunakan metode purposive sampling yang didasarkan pada tutupan lahan dan nilai

NDVI. Lokasi plot dipilih secara acak dengan pertimbangan lokasi yang mudah dijangkau. Setiap tutupan lahan diambil sampel sebanyak lima plot. Untuk menentukan ukuran plot sampel pengamatan tingkat

vegetasi pohon, digunakan acuan dari Standar Nasional Indonesia (SNI) 7724-2011 (Badan Standarisasi Nasional, 2011) yang memperlihatkan ukuran plot lapangan yang diambil sebesar 20 m x 20 m dengan luas 400 m²



Gambar 1. Bentuk dan Ukuran Plot Pengamatan

Data pohon yang diambil dilapangan adalah jenis vegetasinya, diameter pohon \geq 10 cm yang diukur DBH (*diameter breast high*) atau diameter setinggi dada, tinggi pohon dan koordinat titik sampel plot.

1. Analisis Data

Perhitungan biomassa ini diukur menggunakan metode non destructive (tanpa merusak). Biomassa dihitung dengan persamaan Allometrik menurut Chave *et.al* (2005), sebagai berikut

$$Y = 0,0509 \times \rho \times DBH^2 \times T$$

Keterangan :

- Y = Total Biomassa (kg)
- DBH = Diameter setinggi dada (cm)
- P = Berat jenis kayu (g/cm³)
- T = Tinggi (m)

Dalam menghitung biomassa di hutan alam, digunakan rata-rata berat jenis kayu sebesar 0,68 gr/cm³ atau 680 kg/m³ (Rahayu *et.al*, 2006). Setelah memperoleh data biomassa, perhitungan cadangan karbon dilakukan dengan mengalikan data biomassa dengan nilai 0,47 untuk memperoleh estimasi stok karbonnya, sesuai dengan ketentuan dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) 7724:2011.

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

Keterangan :

- Cb = Kandungan karbon dari biomassa (kg)

B(Y) = Total Biomassa (kg)

% C Organik = Nilai Persentase kandungan karbon sebanyak 0.47

Untuk menghitung kandungan karbon per hektar, dapat digunakan persamaan yang disebutkan dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) tahun 2011.

$$Cn = \frac{Cx}{1000} \times \frac{10000}{L}$$

Keterangan:

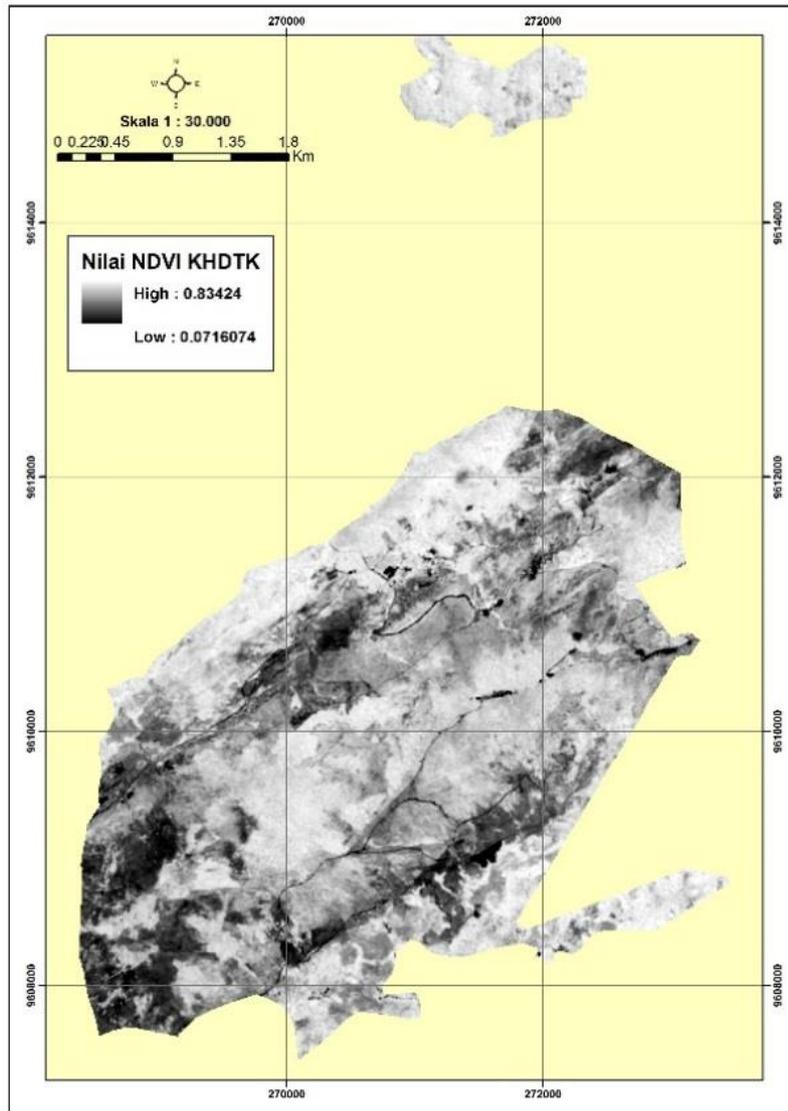
- Cn = Kandungan karbon per hektar (ton/ha)
- Cx (Cb) = Kandungan karbon (kg)
- L plot = Luas Plot (m²)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tutupan Lahan Berdasarkan NDVI

Citra Sentinel 2B_MSIL1C_20190809T022559_N0208_R046_T50MKB_20190809T055942 yang diunduh melalui *earthexplorer.usgs.gov* digunakan dalam penelitian ini. Citrat Sentinel 2 memiliki kualitas radiometrik yang lebih baik daripada Landsat 8, sehingga lebih cocok untuk pemantauan lahan. Pada penelitian ini, digunakan citra Sentinel 2 level-1C dengan resolusi spasial 10 m, 20 m, atau 60 m, yang juga menyediakan reflektivitas ToA atmosfer (Suprayogi, 2018). Penentuan nilai NDVI menggunakan band 4 dan band 8 yang resolusi spasialnya 10 m.

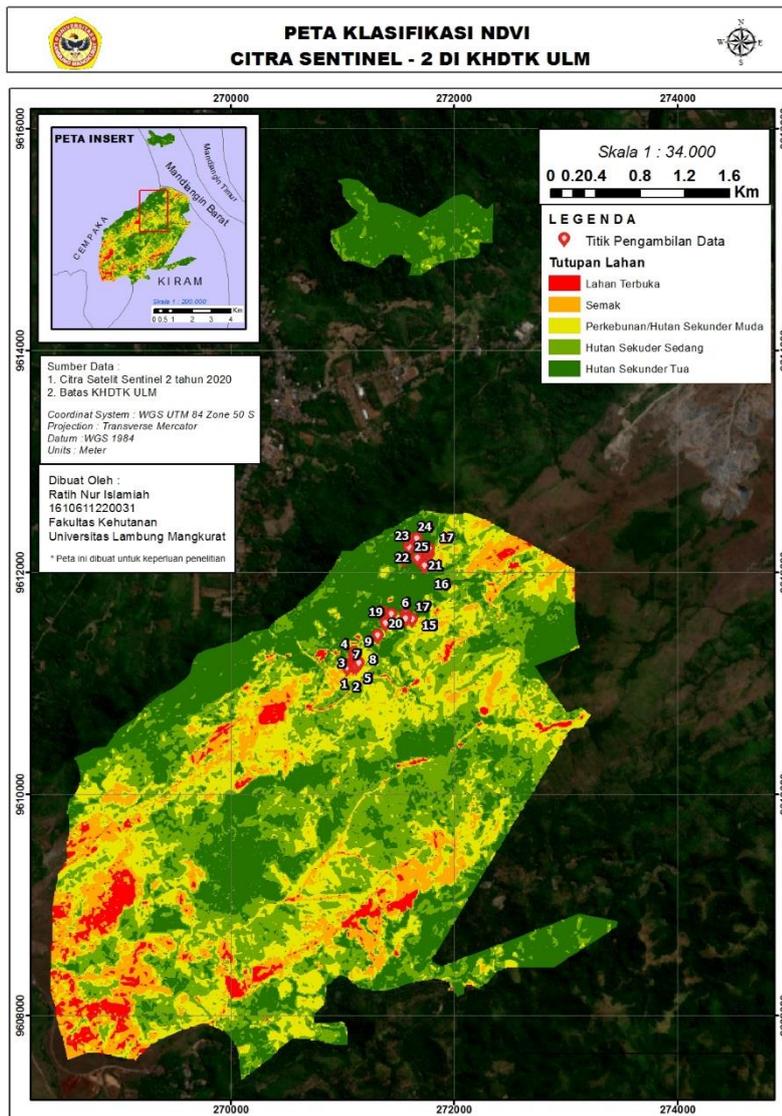
Sentinel 2 level 1C perlu dilakukan koreksi atmosfer yang dilakukan dengan perangkat lunak QGIS. Untuk memperoleh citra Sentinel 2 yang lebih baik, dilakukan koreksi atmosfer untuk menurunkan reflektansi objek dari total radiasi ToA setelah proses normalisasi kondisi pencahayaan dan penghapusan efek atmosfer, sehingga citra yang dihasilkan mencapai level 2A, yaitu BoA. Dari hasil koreksi nilai citra berbeda dari sebelumnya. Pada band 4 sebelum dikoreksi nilai citranya 0 -11477 dan band 8 yaitu 0 – 11307. Setelah dikoreksi nilai citra sentinel 2 pada band 4 yaitu 0.0262 – 1 dan band 8 0.0194 – 1. Setelah pengkoreksian citra, dilakukan analisis NDVI pada areal KHDTK pada gambar 2.



Gambar 2. Peta Kisaran Nilai NDVI di KHDTK ULM

Kisaran nilai NDVI pada Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) ULM menunjukkan bahwa nilai NDVI tertinggi sebesar 0.83424 dan terendah 0.0716. Nilai NDVI yang diperoleh menunjukkan semakin mendekati 1 maka tingkat kehijauannya semakin tinggi dan vegetasi tersebut memiliki kerapatan yang semakin rapat. Permasalahan utama Untuk memetakan parameter-parameter biofisik vegetasi seperti biomassa kerapatan tajuk, volume, dan tinggi pohon, salah satu permasalahannya adalah adanya gangguan atmosferik seperti kehadiran awan,

kabut, dan uap air, serta gangguan topografik berupa bayangan bukit yang dapat mempengaruhinya (Mufidah Asya'ri et al., 2021). Meskipun Citra Sentinel-2 sudah terkoreksi menjadi level 2A, yang berarti sudah terkoreksi atmosfer dan topografik, akan tetapi tidak menutup kemungkinan tetap ada gangguan topografik yang terlihat secara visual di lokasi penelitian. Hasil dari nilai NDVI ditransformasi untuk memperoleh kelas tutupan lahan di KHDTK Mandiangin dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta Tutupan Lahan KHDTK ULM Berdasarkan Nilai NDVI

Kawasan KHDTK ULM Mandiangin dari hasil pengolahan citra sentinel 2 terdapat beberapa jenis tutupan lahan sesuai dengan nilai indeks NDVI yaitu lahan terbuka, semak, hutan sekunder muda, hutan sekunder sedang dan hutan sekunder tua. Nilai NDVI digunakan untuk menentukan lokasi plot sampel (*stratified random sampling*) secara acak dengan mempertimbangkan lokasi yang mudah untuk diakses dan aman untuk

pengambilan data. Pengambilan sampel dilakukan berdasarkan hasil observasi lapangan yang dilakukan peneliti Karmila *et al*, (2018) di KHDTK ULM Mandiangin yang diklasifikasikan kelas tutupan lahan menurut jenis kerapatan vegetasinya. Proses observasi lapangan diperlukan karena nilai NDVI memiliki nilai yang subjektif. Hasil klasifikasi nilai NDVI pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi Tutupan Lahan

| No | Nilai NDVI | Kerapatan | Tutupan Lahan | Luas (Ha) |
|------------|------------|--------------------------------------|--------------------------------|-----------|
| 1 | 0-0.3 | Lahan Terbuka | Lahan Terbuka | 26.49 |
| 2 | 0.3-0.5 | Lahan Terbuka-Vegetasi Sangat Jarang | Semak | 307.94 |
| 3 | 0.5-0.6 | Vegetasi Sangat Jarang-jarang | Perkebunan/Hutan Sekunder Muda | 310.82 |
| 4 | 0.6-0.7 | Vegetasi Jarang-Sedang | Hutan Sekunder Sedang | 505.25 |
| 5 | 0.7-1 | Vegetasi Sedang – Rapat | Hutan Sekunder Tua | 499.66 |
| Total Luas | | | | 1650,18 |

Seiring dengan meningkatnya kerapatan tajuk dan tinggi pohon, nilai NDVI akan semakin tinggi karena adanya peningkatan luas kanopi dan diameter pohon yang meningkatkan kandungan klorofil di area tersebut. Dampak dari peningkatan kandungan klorofil ini adalah meningkatnya reflektansi spektrum hijau. Sulastrri (2015) mengungkapkan bahwa nilai NDVI yang rendah menunjukkan tingkat vegetasi yang rendah, seperti awan, air, tanah kosong, bangunan, dan unsur non-vegetasi, sementara nilai NDVI yang tinggi menunjukkan tingkat vegetasi hijau yang tinggi. Wang et al (2004) juga telah mengemukakan hal serupa.

Hasil klasifikasi nilai NDVI menunjukkan terdapat lima kelas tutupan lahan pada KHDTK Mandiangin yaitu lahan terbuka dengan kisaran nilai NDVI 0-0,3 dengan luas area 26.49 ha. Kelas kedua dengan nilai 0,3 -

0,5 menunjukkan semak yang luasnya 307,94 ha, kelas ketiga dengan vegetasi sangat Jarang sampai jarang dengan kisaran nilai NDVI 0.5 – 0.6 seluas 310,82 ha. Kelas keempat dengan luas tutupan lahan 505,25 ha kisaran nilai NDVI 0.6-0.7 dengan vegetasi jarang ke sedang dan kelas ke 6 dengan nilai NDVI 0.7-1 menunjukkan vegetasi sedang sampai vegetasi rapat seluas 499,66 hektar. Proses pengelompokan tutupan lahan dan besar luasan area setiap tutupan lahan menggunakan software ArcGis.

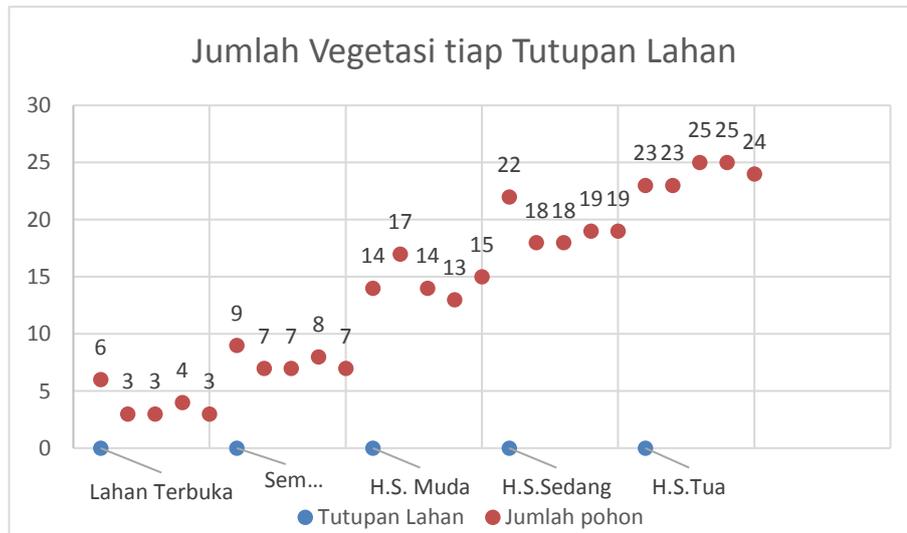
Cadangan Karbon

Nilai biomassa dipengaruhi oleh besar nilai diameter pohon, tinggi pohon dan kerapatan pohon. Data yang diperoleh dari pengambilan titik sampel pada 5 tutupan lahan dengan setiap tutupan lahan terdiri dari 5 plot sampling.

Tabel 3. Titik Lokasi Pengamatan berdasarkan Nilai NDVI

| No | Tutupan Lahan | Nilai NDVI | Jumlah Pohon | X | Y |
|----|------------------------------------|------------|--------------|--------|---------|
| 1 | Lahan Terbuka | 0.306 | 6 | 271031 | 9611172 |
| 2 | Lahan Terbuka | 0.291 | 3 | 271064 | 9611173 |
| 3 | Lahan Terbuka | 0.309 | 3 | 271624 | 9611111 |
| 4 | Lahan Terbuka | 0.311 | 4 | 271684 | 9611112 |
| 5 | Lahan Terbuka | 0.286 | 3 | 271127 | 9611145 |
| 6 | Semak | 0.451 | 9 | 271376 | 9611518 |
| 7 | Semak | 0.441 | 7 | 271436 | 9611610 |
| 8 | Semak | 0.448 | 7 | 271323 | 9611407 |
| 9 | Semak | 0.505 | 8 | 271352 | 9611577 |
| 10 | Semak | 0.431 | 7 | 271326 | 9611494 |
| 11 | Perkebunan Tua/Hutan Sekunder Muda | 0.592 | 14 | 271589 | 9611559 |
| 12 | Perkebunan Tua/Hutan Sekunder Muda | 0.595 | 17 | 271405 | 9611682 |
| 13 | Perkebunan Tua/Hutan Sekunder Muda | 0.537 | 14 | 271503 | 9611695 |
| 14 | Perkebunan Tua/Hutan Sekunder Muda | 0.604 | 13 | 271593 | 9611663 |
| 15 | Perkebunan Tua/Hutan Sekunder Muda | 0.548 | 15 | 271573 | 9611590 |
| 16 | Hutan Sekunder Sedang | 0.689 | 22 | 271740 | 9612180 |
| 17 | Hutan Sekunder Sedang | 0.709 | 18 | 271730 | 9612150 |
| 18 | Hutan Sekunder Sedang | 0.668 | 18 | 271342 | 9611633 |

| No | Tutupan Lahan | Nilai NDVI | Jumlah Pohon | X | Y |
|----|-----------------------|------------|--------------|--------|---------|
| 19 | Hutan Sekunder Sedang | 0.686 | 19 | 271820 | 9612019 |
| 20 | Hutan Sekunder Sedang | 0.685 | 19 | 271696 | 9612100 |
| 21 | Hutan Sekunder Tua | 0.758 | 23 | 271618 | 9612148 |
| 22 | Hutan Sekunder Tua | 0.774 | 23 | 271595 | 9612215 |
| 23 | Hutan Sekunder Tua | 0.798 | 25 | 271666 | 9612293 |
| 24 | Hutan Sekunder Tua | 0.752 | 25 | 271582 | 9612296 |
| 25 | Hutan Sekunder Tua | 0.770 | 24 | 271551 | 9612113 |



Gambar 4. Grafik Jumlah Vegetasi pada tiap Tutupan Lahan

Berdasarkan sebaran plot di area KHDTK, diketahui plot yang memiliki jumlah vegetasi terbanyak pada tutupan lahan Hutan Sekunder Tua dengan rata rata jumlah pohon yang ditemukan 24 pohon per plot sampel dan yang terendah pada tutupan lahan terbuka dengan rata rata jumlah pohon yang ditemukan 4 pohon per plot sampel. Berdasarkan keragaman jenis vegetasi dan banyaknya jumlah vegetasi yang terdata pada pengambilan data, hutan sekunder tua mendominasi banyaknya vegetasi yang ditemukan dan lahan terbuka paling sedikit vegetasi karena pada lahan terbuka didominasi rumput dan semak belukar.

Pada keseluruhan plot, jenis vegetasi paling sedikit pada tutupan lahan terbuka

seperti akasia, pulai, madang puspa, beringin dan trembesi. Tutupan lahan perkebunan/Hutan sekunder muda didominasi dengan pohon karet dan beberapa vegetasi lain seperti alaban, trembesi, jambu gunung dan beringin. Keragaman jenis vegetasi yang mendominasi adalah hutan sekunder tua dengan vegetasi seperti jambu gunung, kupang, kayu kacang, kemiri, madang puspa, alaban, jamai, bayur, margatahan, binuang, rawa-rawa pipit, bangkal gunung, tengkook ayam, bati-bati, mampat, mahang, bintangung, madang pirawas, kayu papan, kayu beranakan, luwa, tampar badak, wangun gunung, bungur, pulantan, palawan dan tiwangan.

Tabel 4. Jenis Pohon dan Jumlah Pohon pada Sampel Plot

| Jenis Pohon | Nama Ilmiah | Jumlah Pohon |
|--------------|---------------------------|--------------|
| Akasia | <i>Acacia mangium</i> | 16 |
| Pulai | <i>Alstonia scholaris</i> | 7 |
| Beringin | <i>Ficus benjamina</i> | 4 |
| Madang Puspa | <i>Litsia sp</i> | 15 |

| Jenis Pohon | Nama Ilmiah | Jumlah Pohon |
|-----------------|----------------------------------|--------------|
| Trembesi | <i>Samanea saman</i> | 4 |
| Alaban | <i>Vitex pubescens</i> | 23 |
| Madang Pirawas | <i>Litsea trima</i> | 16 |
| Rawa rawa pipit | <i>Buchanania arborescens</i> | 22 |
| Mahoni | <i>Switenia mahagoni</i> | 7 |
| Mahang | <i>Macaranga motleyana</i> | 13 |
| Tarap | <i>Artocarpus odoratissimus</i> | 1 |
| Jamai | <i>Instia sp</i> | 20 |
| Kayu Kacang | <i>Strombosia javanica</i> | 27 |
| Karet | <i>Hevea brasiliensis</i> | 59 |
| Jambu Gunung | <i>Syzygium pycnanthum</i> | 5 |
| Belimbing Hutan | <i>Averrhoa sp</i> | 1 |
| Binuang | <i>Duabanga moluccana</i> | 23 |
| Margatahan | <i>Palaquium desyphillum</i> | 13 |
| Kemiri | <i>Aleurites moluccanus</i> | 3 |
| Luwa | <i>Ficus variegata</i> | 3 |
| Kayu Papan | <i>Dysaxylum gaudichaudianum</i> | 7 |
| Bati bati | <i>Eugenia sp</i> | 5 |
| Bayur | <i>Pterospermum javanicum</i> | 11 |
| Bangkal Gunung | <i>Nauclea sp</i> | 7 |
| Tengkook Ayam | <i>Nephelium sp</i> | 8 |
| Mampat | <i>Cratoxylon tomosum</i> | 7 |
| Bintangur | <i>Callophyllum inophyllum</i> | 3 |
| Kupang | - | 3 |
| Kayu Beranakan | - | 2 |
| Tampar badak | - | 1 |
| Wangun Gunung | <i>Evodia aromatic</i> | 1 |
| Bungur | <i>Lagerstroemia speciosa</i> | 2 |
| Pulantan | <i>Alstonia sp</i> | 2 |
| Pulawan | <i>Tristaniopsis merguensis</i> | 2 |
| Tiwangan | - | 1 |
| | Jumlah | 344 |

Hasil pengukuran berupa diameter pohon > 10 cm yang diukur setinggi dada (1,3 m), tinggi pohon dan jenis tanaman. Pengukuran diameter lebih dari 10 cm dilakukan untuk memfokuskan pada pohon yang lebih besar dan memiliki potensi untuk menyimpan jumlah karbon lebih banyak. Pohon yang lebih besar biasanya memiliki volume dan biomassa yang lebih besar di bandingkan pohon lebih kecil, sehingga berpotensi menyimpan jumlah

karbon yang lebih besar. Dengan pengambilan pohon yang lebih besar yang lebih besar dapat diperoleh yang lebih akurat tentang jumlah karbon tersimpan dalam pohon dan memperoleh gambaran yang lebih baik tentang vgetasi dalam wilayah yang teliti. Hasil pengolahan data biomassa pada tutupan lahan di KHDTK ULM Mandiangin dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Biomassa tiap Tutupan Lahan KHDTK ULM

| No | Tutupan Lahan | Biomassa (Kg/ha) | Biomassa (ton/ha) |
|----|--------------------------------|------------------|-------------------|
| 1 | Lahan Terbuka | 12873.4 | 12.87 |
| 2 | Semak | 28518.25 | 28.52 |
| 3 | Perkebunan/Hutan Sekunder Muda | 44756.60 | 44.76 |
| 4 | Hutan Sekunder Sedang | 84164.10 | 84.16 |
| 5 | Hutan Sekunder Tua | 105194.75 | 105.19 |

Besaran nilai biomassa yang dihasilkan setiap tutupan lahan pada tabel diatas tidak sama, karena diameter pohon dan kerapatan pohon atau banyaknya jenis pohon pada lahan tersebut. Semakin besar diameter dan tinggi pohon, maka semakin besar juga jumlah biomassa yang dihasilkan. Faktor tersebut berkaitan dengan kerapatan tegakan secara langsung. Tabel menunjukkan bahwa pada lahan terbuka memiliki nilai biomassa yang lebih kecil yaitu 12,87 ton/ha dari pada hutan sekunder tua yang memiliki biomassa 105,19 ton/ha karena banyaknya tegakan didalamnya.

Menurut beberapa penelitian, biomassa tumbuhan memiliki korelasi positif dengan proses fotosintesis dan pertumbuhan tumbuhan yang ditandai dengan penambahan diameter dan tinggi pohon (Syam'ani et al., 2012). Kandungan karbon dalam suatu pool didefinisikan sebagai cadangan karbon, dan dalam penelitian ini dihitung menggunakan persamaan SNI 7724:2011 dengan asumsi kandungan karbon sebesar 47% dari biomassa. Estimasi cadangan karbon pada areal KHDTK Mandiangin terdapat pada Tabel 6.

Tabel 6. Estimasi Cadangan Karbon pada Tutupan Lahan KHDTK Mandiangin

| No | Tutupan Lahan | Biomassa (ton/ha) | Cadangan Karbon (ton/ha) |
|----|--------------------------------|-------------------|--------------------------|
| 1 | Lahan Terbuka | 12.87 | 6.05 |
| 2 | Semak | 28.52 | 13.40 |
| 3 | Perkebunan/Hutan Sekunder Muda | 44.76 | 21.04 |
| 4 | Hutan Sekunder Sedang | 84.16 | 39.56 |
| 5 | Hutan Sekunder Tua | 105.19 | 49.44 |

Total biomassa terbesar terdapat pada penggunaan lahan Hutan sekunder tua sebesar 105.19 ton/ha dengan penyimpanan cadangan karbon sebesar 49,44 ton/ha, kemudian pada penutupan lahan hutan sekunder sedang biomassa sebesar 84,16 ton/ha dengan cadangan karbon sebesar 39.56 ton/ha. Penutupan lahan perkebunan / hutan sekunder muda menyimpan cadangan karbon sebesar 21,04 ton/ha dengan nilai biomassa 44.76 ton/ha.

pengukuran yang digunakan. Pengukuran yang dilakukan untuk mengestimasi cadangan karbon hanya diatas permukaan pada vegetasi berkayu berdiameter 10 cm keatas.

Estimasi cadangan karbon pada wilayah KHDTK ULM yang diperoleh termasuk dalam nilai cadangan karbon yang rendah. Menurut IPCC (2006) cadangan karbon tinggi bernilai lebih dari 100 ton/ha, cadangan karbon sedang antara 50 ton/hektar sampai 100 ton/hektar dan untuk cadangan karbon rendah bernilai dibawah 50 ton/ha. Namun menurut IPCC bahwa standar nilai cadangan karbon hanya sebagai acuan dan dapat berbeda beda tergantung pada jenis hutan dan metode

Dalam penelitian ini, biomassa tumbuhan bawah pada tamanan kecil tidak dihitung. Hal ini karena kemungkinan daun-daun pohon kecil dan tumbuhan bawah terlindungi di bawah kanopi pohon-pohon besar sehingga tidak dapat terdeteksi secara langsung oleh satelit penginderaan jauh. Namun, masih memungkinkan untuk terdeteksi jika kerapatan pohon-pohon besar cukup rendah. Selain itu, jumlah karbon yang tersimpan pada setiap tutupan lahan berbeda-beda tergantung pada jenis vegetasi yang tumbuh di lahan tersebut. Menurut Hairiah dan Rahayu (2007), tanaman yang tumbuh di hutan atau agroforestri memiliki potensi untuk menyimpan karbon lebih banyak daripada tanaman semusim. Hutan alami dengan keragaman jenis pepohonan dan seresah

yang banyak, merupakan tempat penyimpanan karbon yang sangat tinggi baik di dalam tanah maupun di atas permukaan

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil nilai NDVI pada citra sentinel 2 di KHDTK ULM diklasifikasikan berdasarkan kerapatan terdapat 5 tutupan lahan yaitu Lahan Terbuka, Semak Belukar, Perkebunan/Hutan Sekunder Muda, Hutan Sekunder Sedang dan Hutan Sekunder Tua dan estimasi besar cadangan karbon lahan terbuka menyimpan karbon sebanyak 6,05 ton/ha, semak menyimpan cadangan karbon sebesar 13,40 ton/ha, sedangkan pada tutupan lahan hutan sekunder muda menyimpan cadangan karbon sebesar 21,04 ton/ha, hutan sekunder sedang memiliki besar cadangan karbon senilai 39.56 ton/ha dan untuk tutupan lahan Hutan sekunder tua menyimpan cadangan karbon 49,44 ton/ha.

Saran

Peneliti merekomendasikan untuk melakukan studi lebih lanjut di Gunung Waringin untuk mendapatkan informasi yang lebih akurat tentang jenis tutupan lahan dan nilai cadangan karbon di seluruh area KHDTK. Selain itu, penelitian juga dapat dilakukan untuk mengetahui jumlah nilai cadangan karbon di bawah permukaan dan cadangan karbon tanah di KHDTK ULM, sehingga hasil penelitian dapat memberikan manfaat yang lebih besar di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Asy'ari, M., Syam'ani., Satriadi, T. 2021. Pemetaan Biomassa Tegakan Hutan Hujan Tropis Di Bukit Mandiangin Menggunakan Citra Sentinel -2. *Jurnal Hutan Tropis* (9): 299-309
- Chave, J., Andola, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J.Q., & Eamus, D. 2005. *Tree Allometry And Improved Estimation Of Carbon Stock. Oecologia*: 87-99
- IPCC. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by

the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. And Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.

- Hairiah, K dan Rahayu, S. 2007. *Pengukuran 'Karbon Tersimpan' di berbagai Macam Penggunaan Lahan*. Bogor. World Agroforestry Centre - ICRAF, SEA Regional Office, University of Brawijaya, Unibraw, Indonesia. 77p.
- Karmila, D., Jauhari, A., & Kanti, R. 2018. Estimasi Nilai Cadangan Karbon Menggunakan Analisis NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) di KHDTK Universitas Lambung Mangkurat. *Jurnal Sylva Scientiae*, 3(3), 451-459.
- Rahayu, S., B. Lusiana, & Van Noordwijk, M. 2006. *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. Pengukuran dan Penghitungan Cadangan Karbon-Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan (Ground Based Forest Carbon Accounting)*. Badan Standarisasi Nasional.
- Sulastri. 2015. *Biomassa Karbon Pohon yang Tersimpan di Arboretum Dinas Kehutanan Provinsi Sulawesi Tengah Kota Palu*. Skripsi. Palu: Fakultas Kehutanan. Untad.
- Suprayogi, A., Putra Wijaya, A., Subiyanto. 2018. Analisis Kesehatan hutan mangrove berdasarkan klasifikasi ndvi pada citra sentinel-2 (studi kasus: teluk pangpang kab. Banyuwangi). Universitas Diponegoro
- Syam'ani, A Agustina R, & Nugroho, Y. 2012. *Cadangan Karbon di Atas Permukaan Tanah Pada Berbagai Sistem Penutupan Lahan Di Sub-Sub DAS Amandit*. Banjarbaru : Fakultas Kehutanan ULM.
- Wang J, Rich PM, Price KP, & Kettle WD. 2004. Relation between NDVI and tree productivity in the Central Great Plains. *International Journal of Remote Sensing*. 25(16):3127-3138.