

KARAKTERISTIK SPASIAL DAN POTENSI CADANGAN KARBON DI BENTANG ALAM MBELILING NUSA TENGGARA TIMUR

*(Spatial Characteristics and Potential Carbon Stock
in Mbeliling Landscape, East Nusa Tenggara)*

Serlina H. Oktian¹, Luluk Setyaningsih², Nengsih Anen³, Wahyu C. Adinugroho⁴

¹Badan Standardisasi Instrumen Pengelolaan Hutan Berkelanjutan
Jl. Gunung Batu No. 5, Kota Bogor, 16118
e-mail: serlinaoktian@gmail.com

²Progam Studi Kehutanan, Kehutanan, Universitas Nusa Bangsa
Jl. KH. Soleh Iskandar Km.4 Kelurahan Cibadak Tanah Sareal, Kota Bogor, 16166
email: luluk.setya01@gmail.com

³Progam Studi Kehutanan, Kehutanan, Universitas Nusa Bangsa
Jl. KH. Soleh Iskandar Km.4 Kelurahan Cibadak Tanah Sareal, Kota Bogor, 16166
email: nengsilviana@yahoo.com

⁴Badan Standardisasi Instrumen Pengelolaan Hutan Berkelanjutan
Jl. Gunung Batu No. 5, Kota Bogor, 16118
email: wahyukdephut@gmail.com

Correspondent author : nengsilviana@yahoo.com

ABSTRACT

Providing comprehensive information on carbon stock data on all carbon pools needs to be done to plan and measure climate change mitigation efforts that are carried out. This research was conducted by analyzing spatial characteristics and estimating carbon stocks with model development. Spatial analysis is carried out to provide an overview of the distribution of spatial values that can use the built model. Estimation of carbon stock is carried out by building a carbon stock estimator model that correlates the value of remote sensing parameters with the value of carbon stocks in all carbon storage sources. The characteristics of the vegetation index value in the forest category are greater than in the non-forest category and vice versa for the distribution of the digital number average value. The model development is only carried out on aboveground biomass and belowground biomass carbon pools. The results of the analysis of the estimation of carbon stocks based on the selected model showed the potential for aboveground biomass was 5,200,841.45 tC and the potential for belowground biomass was 1,317,948.10 tC.

Keywords : carbon stock, spatial characteristics, sentinel 2A

ABSTRAK

Penyediaan informasi data cadangan karbon secara komprehensif pada seluruh sumber penyimpanan karbon perlu dilakukan untuk merencanakan dan mengukur upaya mitigasi perubahan iklim yang dilakukan. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan analisis karakteristik spasial dan pendugaan cadangan karbon dengan pembangunan model. Analisis spasial dilakukan untuk memberikan gambaran sebaran nilai spasial yang dapat menggunakan model terbangun. Pendugaan cadangan karbon dilakukan dengan membangun model penduga cadangan karbon yang mengkorelasikan nilai parameter penginderaan jauh dengan nilai cadangan karbon pada seluruh sumber penyimpanan karbon. Karakteristik nilai indeks vegetasi pada kategori hutan lebih besar dari pada kategori non hutan dan sebaliknya untuk sebaran nilai rata-rata digital number. Pembangunan model hanya dilakukan pada sumber penyimpanan karbon biomassa atas permukaan tanah dan biomassa bawah permukaan tanah. Hasil analisis pendugaan cadangan karbon berdasarkan model terpilih menunjukkan potensi pada biomassa atas permukaan tanah sebesar 5.200.841,45 tC dan potensi pada biomassa bawah permukaan tanah sebesar 1,317,948.10 tC.

Kata Kunci: cadangan karbon, karakteristik spasial, sentinel 2A.

I. PENDAHULUAN

Emisi karbondioksida di atmosfer adalah Gas Rumah Kaca (GRK) terbesar dari faktor antropogenik, yaitu sebanyak 78% pada tahun 2010 (IPCC, 2014). Konsentrasi CO₂ meningkat dari 338 ppm pada 1980 menjadi 409,85 ppm pada tahun 2019 (Dlugokencky dan Tans, 2019). Data BMKG (2020) menunjukkan anomali peningkatan suhu udara rata-rata Indonesia sebesar 0,6°C dengan anomali suhu udara tertinggi pada bulan Juli 2020.

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) adalah konvensi internasional yang menghasilkan kebijakan-kebijakan terkait perubahan iklim. Komitmen yang diambil Indonesia sebagai negara yang meratifikasi konvensi UNFCCC adalah penurunan emisi gas rumah kaca sebesar 29% pada tahun 2030 dengan upaya sendiri dan mencapai 41% dengan bantuan internasional dari kondisi tanpa adanya rencana aksi (Dirjen PPI, 2017). Upaya tersebut perlu didukung dengan ketersediaan data dan informasi yang akan menjadi dasar dalam menentukan tindakan perencanaan dan aksi-aksi penurunan emisi GRK. Berkaitan dengan hal tersebut diperlukan teknik pengukuran yang tepat, yang akan menghasilkan data dan informasi akurat sehingga bermanfaat untuk memenuhi prinsip *transparency, accuracy, consistency, completeness dan comparability* (TACCC), sesuai dengan persyaratan UNFCCC dalam *measurement, reporting and verification* (MRV) emisi GRK.

Hutan merupakan penyimpan karbon pada ekosistem terestrial dengan kapasitas penyimpanan sebanyak 48% dari total 3.600-5.050 MtC^e (IPCC, 2001). Hutan juga menyumbang 65% dari total emisi nasional yang disebabkan oleh deforestasi dan degradasi hutan (Krisnawati *et.al.*, 2010). Cadangan karbon tersebut tersimpan dalam 5 sumber penyimpanan karbon, Biomassa Atas Permukaan Tanah, Biomassa Bawah Permukaan Tanah, Kayu Mati, Serasah, dan

Tanah (IPCC, 2006). Biomassa Atas permukaan tanah merupakan komponen penting dari 5 sumber penyimpanan karbon yang ada karena sifatnya yang dinamis, dominan, dan dapat dimanipulasi. Dasar utama dalam inventarisasi karbon adalah estimasi biomassa atas permukaan tanah yang juga dijadikan dasar negosiasi internasional dalam skema perdagangan karbon (Anaya *et.al.*, 2009). Indonesia sebagai negara yang memiliki hutan tropis yang luas, memiliki kesempatan sangat besar untuk berkontribusi dalam mitigasi perubahan iklim global dalam skema UNFCCC.

Google Earth Engine (GEE) merupakan satelit milik *European Space Agency* yang merupakan *platform* analisis penginderaan jauh berbasis *cloud* yang menjadi solusi dari pengukuran terestrial dan analisis berbasis *windows* (Gorelic *et.al.*, 2017). Dataset GEE memiliki beberapa citra resolusi tinggi yang salah satunya adalah Sentinel-2A. Citra Sentinel 2A yang digunakan dalam penelitian ini merupakan citra siap analisis yang telah terkoreksi *Top of Atmospheric* (TOA). GEE dapat digunakan untuk kajian-kajian pemantauan lahan, vegetasi, tutupan tanah dan air, serta pengamatan jalur air pedalaman dan daerah pesisir. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan analisis karakteristik pengaruh perubahan cadangan karbon secara spasial dan melakukan estimasi potensi cadangan karbon skala bentang alam di Bentang Alam Mbeliling dengan menggunakan GEE.

II. METODE PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Bentang Alam Mbeliling, Nusa Tenggara Timur, Indonesia (119°47'60" BT - 120°07'48" BT dan 08°32'06" LS-08°52'12" LS) dengan luas wilayah ± 93.126 ha. Bentang Alam Mbeliling merupakan salah satu wilayah kerja Direktorat Jenderal Konservasi Sumber Daya Alam dan Ekosistem, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan yang pengelolaannya di bawah

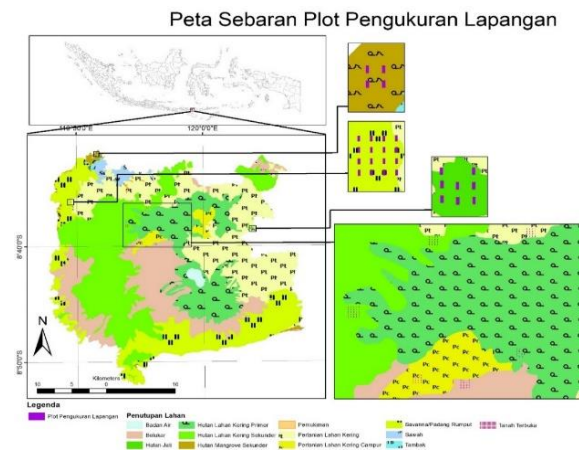
pendampingan Yayasan Burung Indonesia. Beberapa fungsi hutan yang ada di Kawasan Bentang Alam Mbeliling, yaitu Hutan Lindung, Cagar Alam, Hutan Produksi dan Areal Penggunaan Lain (APL).

B. Cadangan Karbon Lapang

Pendugaan cadangan karbon lapang dilakukan pada 75 plot sampel yang terdiri dari 8 penutupan lahan yaitu, Hutan Lahan Kering Primer (HLKP), Hutan Lahan Kering Sekunder (HLKS), Hutan Mangrove Sekunder (HMS), Hutan Jati (HJ), Pertanian Lahan Kering (PLK), Pertanian Lahan Kering Campur (PLKC), Belukar (B) dan Savana (S). Peta lokasi plot penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

Pengukuran cadangan karbon dilakukan kepada semua sumber penyimpanan karbon, Biomassa Atas Permukaan Tanah, Biomassa Bawah Permukaan Tanah, Kayu Mati, Serasah, dan Tanah. Pengukuran cadangan

karbon secara terestris dilakukan oleh masyarakat sekitar wilayah penelitian dengan pendampingan ahli. Data cadangan karbon hasil pengukuran lapang dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1. Peta Plot Penelitian berdasarkan Penutupan Lahan

Tabel 1. Hasil Pengukuran Cadangan Karbon Lapang

Penutupan Lahan	Cadangan Karbon (ton C/ha)					Total
	BPAT	BBPT	Serasah	Kayu Mati	Tanah	
Belukar	67,41	16,77	0,84	5,41	139,93	
Hutan Jati	69,02	16,26	1,35	26,69	149,66	
Hutan Lahan Kering Primer	108,29	25,54	0,54	14,68	231,33	
Hutan Lahan Kering Sekunder	96,66	22,94	0,44	10,98	204,23	
Hutan Mangrove Sekunder	34,4	9,03	0,36	2,98	182,86	
Pertanian Lahan Kering	32,71	10,13	0,33	1,57	270,56	
Pertanian Lahan Kering Campur	68,35	17,13	0,93	4,33	180,14	
Savana	7,64	2,39	0,79	0,26	415,85	
Rata-rata	73,67	18,05	0,59	8,24	207,3	307,84

Sumber: Adinugoho *et.al.* (2020)

Keterangan:

BPAT : Biomassa Atas Permukaan Tanah

BBPT : Biomassa Bawah Permukaan Tanah

C. Parameter Penginderaan Jauh

Parameter penginderaan jauh yang dibahas dalam penelitian ini adalah band tunggal dan indeks vegetasi (Oktian *et.al.*, 2020). Parameter penginderaan jauh digunakan sebagai instrumen untuk melakukan analisis karakteristik spasial dari penutupan

lahan yang berada di areal penelitian yang dilakukan dengan analisis citra digital, selain itu untuk diketahui pula korelasi antara seluruh sumber penyimpanan karbon dengan parameter penginderaan jauh yang digunakan.

Band tunggal (Band 11 dan Band 12) merupakan parameter penginderaan jauh yang

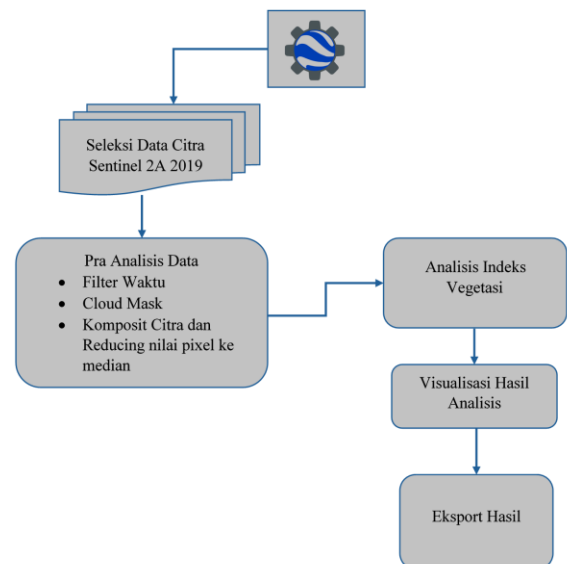
memiliki karakteristik berbeda-beda, baik dalam hal nilai sebaran, tujuan penggunaan atau kemampuan deteksi reflektansi objeknya. Objek tanah berdasarkan kurva reflektansi sangat sensitif pada panjang gelombang 1,8-2,4 (Riza *et al.*, 2011). Band tunggal memiliki nilai panjang gelombang berkisar antara 1,8-2,4. Indeks vegetasi adalah besaran nilai kehijauan vegetasi yang diperoleh dari pengolahan sinyal digital data nilai kecerahan (*brightness*) beberapa kanal data sensor satelit (Andana, 2015). Terdapat korelasi positif antara nilai indeks vegetasi pada citra satelit dengan biomassa lapangan (Rakhmawati, 2012); (Agustina, 2016); (Dewi, 2018); (Syarif, 2011). Dalam penelitian ini, indeks vegetasi yang digunakan adalah indeks vegetasi *Transformed Vegetation Index*-TVI (Hidayatullah, 2016), *Athmosperic Resistant Vegetation Index*-ARVI, *Red-Green Index*-RGI (Fadiakhumairah, 2018), *Difference Vegetation Index*-DVI (Xue, 2017), *Atmospherically Resistant Vegetation Index*-IAVI (Xue, 2017), *Normalized Difference Red Edge*-NDREI (Filho *et.al.*, 2019), dan *Global Ecosystem Dynamic Investigation*-GEDI. Formula indeks vegetasi masing-masing ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Formula Indeks Vegetasi

Indeks Vegetasi	Persamaan
TVI	$\left(\frac{NIR - RED}{NIR + RED} + C \right)^{\frac{1}{2}}$
ARVI	$\frac{NIR - RB}{NIR + RB}$
RGI	$\frac{GREEN - RED}{GREEN + RED}$
DVI	$NIR - RED$
IAVI	$\frac{NIR - [RED - \gamma(BLUE - RED)]}{NIR + [RED - \gamma(BLUE - RED)]}$
NDREI	$\frac{NIR - RE}{NIR + RE}$
GEDI	(Potapov, P)

D. Analisis Data Penginderaan Jauh dengan Google Earth Engine

GEE merupakan inovasi teknologi geospasial dari Google untuk analisis data penginderaan jauh. Analisis raster yang dapat dilakukan di GEE meliputi analisis data berbasis sistem informasi geografis, sosial, demografi, cuaca, model elevasi digital, dan lapisan data iklim (Mutanga dan Kumar, 2019). Analisis indeks vegetasi dilakukan di GEE dengan mengaplikasikan formula indeks vegetasi dalam bahasa pemrograman *Java Script* (Gambar 2).



Gambar 2. Proses Analisis Indeks Vegetasi di GEE

E. Model Penduga Cadangan Karbon

Estimasi cadangan karbon dapat dilakukan dengan pengukuran secara destruktif dan non destruktif. Pengukuran cadangan karbon secara destruktif memerlukan banyak waktu dan biaya, sedangkan pengukuran cadangan karbon secara non destruktif dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan alometrik dan pendugaan cadangan karbon secara spasial dengan citra digital. Perhitungan cadangan karbon pada penelitian ini menggunakan model penduga cadangan karbon BAPT =

14,046 + 272,496 RGI (Oktian *et.al.*, 2020). Model pendugaan cadangan karbon dapat dilakukan di tempat lain pada sumber penyimpanan karbon yang sama apabila memiliki kesamaan dalam nilai sebaran indeks vegetasi. Analisis korelasi pearson juga dilakukan dalam penelitian ini untuk melihat bagaimana kemampuan dari parameter penginderaan jauh dalam menjelaskan cadangan karbon di lapangan.

F. Potensi Cadangan Karbon

Perhitungan potensi cadangan karbon dilakukan menggunakan GEE dengan menambahkan model terbaik pada variabel indeks vegetasi terpilih. Dari peta areal studi yang telah memuat informasi cadangan karbon, dilakukan ekastraksi nilai cadangan karbon dengan menggunakan Arcmap. Perhitungan potensi cadangan karbon pada

skala *landscape* dilakukan dengan rumus sebagai berikut :

$$Potensi = Total\ AGB \times Luas\ pixel$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Spasial

Karakteristik adalah ciri khas tertentu yang dimiliki oleh seseorang atau sesuatu yang sesuai dengan perwatakannya. Karakteristik yang dibahas pada penelitian ini dilakukan berdasarkan nilai pixel dari band tunggal dan indeks vegetasi yang dianalisis. Analisis karakteristik parameter penginderaan jauh dilakukan berdasarkan pengkategorian penutupan lahan hutan dan penutupan lahan non hutan. Nilai rata-rata parameter penginderaan jauh pada penutupan lahan non hutan dapat dilihat pada Tabel 3 dan penutupan lahan hutan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 3. Nilai Parameter Penginderaan Jauh pada Penutupan Lahan Non Hutan

Parameter	N	Min	Max	Mean	Median	SE	SD
ARVI	34	0,18	0,73	0,53	0,61	0,03	0,18
BAND 11	34	1495	3066,78	2071,59	2029,31	63,31	369,14
BAND 12	34	762,31	2079,83	1110,63	988,05	57,94	337,86
DVI	34	1197,11	3491,50	2456,88	2728,55	105,55	615,45
GEDI	34	1	24,06	12,39	12,61	0,94	5,49
IAVI	34	0,27	0,84	0,65	0,74	0,03	0,18
NDREI	34	4,25	10,88	8,3	8,97	0,35	2,02
RGI	34	-0,09	0,29	0,14	0,18	0,02	0,11
TVI	34	0,93	1,16	1,09	1,12	0,01	0,07

Kategori penutupan lahan non hutan terdiri dari penutupan lahan savana, pertanian lahan kering, pertanian lahan kering campuran, dan belukar. Nilai rata-rata digital number dan indeks vegetasi menunjukkan nilai yang berbeda-beda. Nilai band tunggal dan indeks DVI berkisar pada angka ribuan, dengan rata-

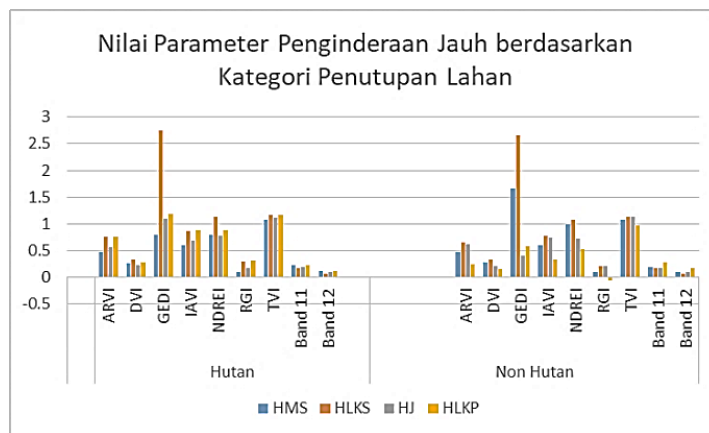
rata untuk band 11 adalah 2071,59, untuk band 12 adalah 1110,63, dan untuk indeks vegetasi DVI 2456,88. Nilai ini berbeda dengan nilai indeks vegetasi lainnya yang memiliki nilai rata-rata satuan. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh algoritma indeks vegetasi dari masing-masing indeks.

Tabel 4. Nilai Parameter Penginderaan Jauh pada Penutupan Lahan Hutan

Parameter	N	Min	Max	Mean	SE	SD
ARVI	41	0,4	0,78	0,72	0,01	0,09
BAND 11	41	1286,82	2292,61	1681,98	36,01	230,59
BAND 12	41	594,06	1413,16	738,59	25,42	162,76
DVI	41	1850,15	3615,11	3123,36	59,41	380,39
GEDI	41	1,33	32,56	24,35	1,23	7,88
IAVI	41	0,52	0,9	0,84	0,01	0,09
NDREI	41	6,55	12,99	10,53	0,2	1,29
RGI	41	0	0,34	0,29	0,01	0,07
TVI	41	1,04	1,17	1,16	0,004	0,03

Kategori penutupan lahan hutan terdiri dari penutupan lahan hutan mangrove sekunder, hutan jati, hutan lahan kering sekunder dan hutan lahan kering primer. Kategori hutan ini terdiri dari 41 plot lapangan. Rata-rata sebaran nilai indeks vegetasi ARVI, DVI, GEDI, IAVI, NDREI, RGI, dan TVI menunjukkan nilai yang lebih besar dibandingkan dengan nilai rata-rata pada

kategori penutupan lahan non hutan. Nilai *digital number* menunjukkan sebaran nilai yang berbeda, dimana nilai *digital number* pada kategori penutupan lahan hutan memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan kategori non hutan. Secara visual perbedaan karakteristik spasial pada kategori hutan dan non hutan dapat dilihat pada Gambar 3.



- Keterangan :
- DVI/10000
 - GEDI/10
 - NDREI/10
 - Band 11/10000
 - Band 12/10000

Gambar 3. Grafik Nilai Parameter Penginderaan Jauh pada Kategori Penutupan Lahan

Nilai indeks vegetasi yang berbeda pada penggunaan lahan yang berbeda menunjukkan adanya perbedaan karakteristik sebaran vegetasi (Hidayati *et.al.*, 2018). Indeks vegetasi pada penutupan lahan tidak bervegetasi akan menunjukkan nilai indeks vegetasi yang minimum, sedangkan pada wilayah bervegetasi akan menunjukkan nilai

yang maksimum (Sudiana dan Diasmara, 2008). Dalam perhitungannya, indeks vegetasi dihitung dengan membandingkan tingkat kecerahan band merah (red) dan band NIR (Fadhly, 2011). Berdasarkan pola spektral pantulan vegetasi (Jensen, 1995), band merah dan NIR akan menghasilkan nilai kecerahan yang jauh berbeda dibandingkan band lain

dalam mendeteksi vegetasi. Hal tersebut disebabkan karena faktor dominan pengontrol pantulan daun, faktor tersebut adalah kemampuan klorofil daun dalam menyerap cahaya merah dan jaringan mesofil daun yang mampu memantulkan cahaya infra merah dekat.

Band 11 dan band 12 yang merupakan parameter penginderaan jauh yang masuk ke dalam kategori band tunggal, menunjukkan sebaran nilai yang berbeda dibandingkan dengan nilai indeks vegetasi. Nilai band tunggal menunjukkan nilai sebaran yang lebih besar pada kategori penutupan lahan non hutan dari pada kategori penutupan lahan hutan. Panjang gelombang band 11 dan band 12 berkisar antara 1,610-2,190, rentang panjang

gelombang tersebut memiliki sensitivitas yang lebih tinggi dalam mendeteksi objek tanah jika dibandingkan dengan band lainnya. Penutupan lahan non hutan memiliki penutupan tajuk yang lebih rendah dibandingkan dengan penutupan lahan hutan, sehingga pada penutupan lahan non hutan background tanah lebih banyak.

B. Korelasi Cadangan Karbon dengan Parameter Penginderaan Jauh

Uji korelasi pearson dilakukan untuk melihat hubungan antara indeks vegetasi dan sumber penyimpanan karbon, dimana hasilnya dapat menerangkan kemampuan parameter penginderaan jauh dalam menjelaskan sumber penyimpanan karbon (Tabel 5).

Tabel 5. Hasil Analisis Korelasi Pearson

Sumber Penyimpanan karbon	Korelasi Pearson								
	Band 11	Band 12	ARVI	DVI	GEDI	IAVI	NDREI	RGI	TVI
BAPT	-	-	0,87**	0,84**	0,81**	0,86**	0,82**	0,91**	0,84**
BBPT	-	-	0,88**	0,85**	0,81**	0,87**	0,84**	0,92**	0,85**
Seresah	-	-	-0,05	-0,08	-0,18	-0,05	-0,08	-0,05	-0,05
Kayu mati	-	-	0,3**	0,3**	0,3**	0,29**	0,33**	0,33**	0,29**
Tanah	0,1	0,26	-	-	-	-	-	-	-

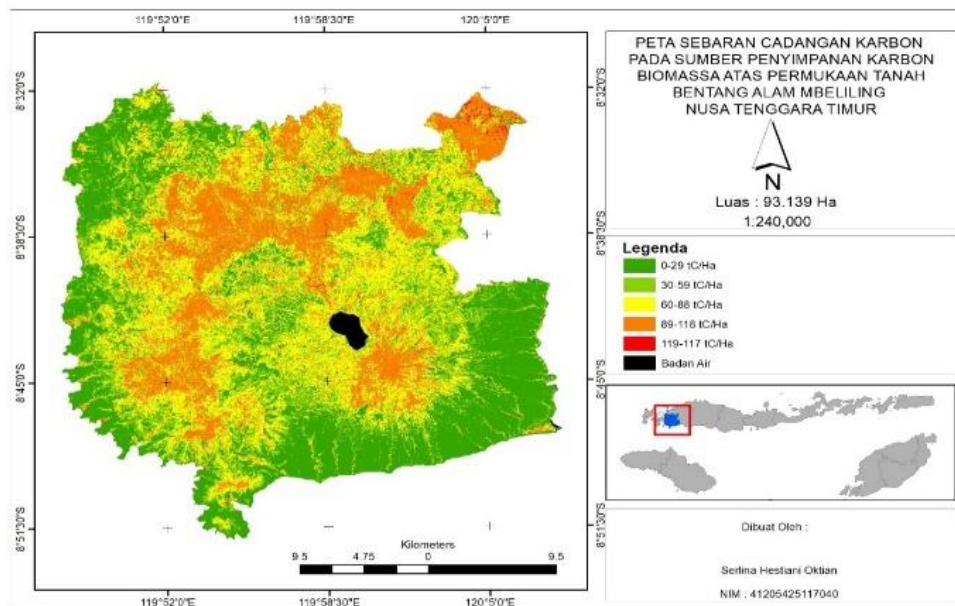
Korelasi sempurna antara parameter penginderaan jauh dengan sumber penyimpanan karbon hanya ditunjukkan oleh sumber penyimpanan karbon Biomassa Atas Permukaan Tanah dan Biomassa Bawah Permukaan Tanah. Biomassa atas permukaan tanah merupakan seluruh tumbuhan hidup yang berada di atas tanah termasuk daun, batang, buah, dan bunga. Biomassa bawah permukaan tanah merupakan biomassa hidup yang berada dibawah permukaan tanah yang termasuk akar tanaman dan biasanya akar < 2 mm diabaikan dalam perhitungan. Cara kerja satelit penginderaan jauh adalah memotret permukaan bumi dan mengolah sedemikian

rupa hasil pantulan sinyal elektromagnetik yang dipancarkan objek sehingga dapat dianalisis oleh pengguna. Objek yang dapat dideteksi sensor di permukaan bumi adalah vegetasi, air, dan tanah, atau dapat dikatakan pula bahwa indeks vegetasi menjelaskan struktur vegetasi dipermukaan bumi secara horisontal. Transformasi dari indeks vegetasi dapat digunakan untuk deteksi vegetasi. Sehingga, kemampuan indeks vegetasi dalam menerangkan keadaan biomassa atas permukaan tanah lebih besar dibandingkan sumber penyimpanan karbon lainnya. Karena informasi dari objek vegetasi yang terdapat pada sumber penyimpanan karbon tersebut

dipotret langsung oleh sensor. Biomassa bawah permukaan tanah dalam penelitian ini dilakukan dengan pendekatan *root-to-shoot* ratio setelah diketahuinya nilai Biomassa Bawah Permukaan Tanah. Sehingga Biomassa Bawah Permukaan Tanah juga memiliki korelasi yang tinggi karena pendugaannya menggunakan hubungan antara biomassa atas permukaan tanah dengan biomassa akar.

C. Potensi Cadangan Karbon

Pendugaan cadangan karbon dengan menggunakan GEE dilakukan dengan menambahkan model $BAPT = 14,046 + 272,496 \text{ RGI}$ (Oktian *et.al.*, 2020). Berdasarkan model tersebut didapatkan Peta Potensi Cadangan Karbon Biomassa Atas Permukaan Tanah (Gambar 4).



Gambar 4. Peta Potensi dan Sebaran Cadangan Karbon Biomassa Atas Permukaan Tanah

Ekstraksi nilai cadangan karbon dilakukan dengan menggunakan Arcmap, Ekstraksi dilakukan dengan membagi areal penelitian menjadi 25 zona untuk memudahkan ekstraksi yang dilakukan serta meminimalkan hilangnya data nilai pixel. Nilai cadangan karbon berdasarkan peta potensi cadangan karbon kemudian dikonversi ke cadangan karbon skala lanskap dengan dikalikan luas pixel citra Sentinel 2A. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, potensi cadangan karbon di Bentang Alam Mbeliling pada sumber penyimpanan karbon Biomassa Atas Permukaan Tanah adalah 5.200.841,45 tC. Penelitian lain yang dilakukan di Nusa

Tenggara Timur menunjukkan hasil cadangan karbon yang berbeda, pada Savana Huek sebesar 54.998.961,36 ton, pada Savana Gewang sebesar 141.927,9ton dan pada Savana Lontar sebesar 1.570.268,64 ton (Kurniawan dan Yuniati, 2013). Nilai tersebut berbeda dengan nilai total cadangan karbon di Bentang Alam Mbeliling, pada areal pembandingan fokus analisis berada pada areal savana dan luasannya juga lebih luas dibandingkan dengan areal Bentang Alam Mbeliling apalagi Savana Huek yang memiliki luasan sebesar 102.384,60 ha (Tabel 6).

Tabel 6. Potensi dan Sebaran Cadangan Karbon Biomassa Atas Permukaan Tanah

Kelas	Potensi (tC/ha)	Luas (ha)	Luas (%)
1	0-29	26,777.21	28.93
2	30-58	16,042.99	17.33
3	59-87	27,941.95	30.19
4	88-116	21,182.27	22.89
5	117-145	609.66	0.66
6	146-174	2.02	0.002
Total		92,556	100

Berdasarkan potensi dan sebaran cadangan karbon, cadangan karbon pada Biomassa Atas Permukaan Tanah di Bentang Alam Mbeliling didominasi oleh kelas 3 dengan potensi 59-87 tC/ha. Dominansi tersebut dijelaskan oleh sebaran areal yang memiliki potensi sebaran cadangan karbon 59-87 tC/ha, dimana luasan arealnya adalah 27.941,95 ha. Sedangkan sebaran paling rendah berada pada potensi 146-174 tC/ha atau pada kelas potensi cadangan karbon tertinggi.

III. KESIMPULAN

Karakteristik nilai spasial pada indeks vegetasi menunjukkan nilai penutupan lahan hutan lebih tinggi dibandingkan nilai penutupan lahan non hutan dan pada nilai spasial band tunggal menunjukkan hal yang sebaliknya. Potensi cadangan karbon Biomassa Atas Permukaan Tanah dilakukan dengan menggunakan model BAPT = $14,046 + 272,496 \text{ RGI}$. Cadangan karbon pada Biomassa Atas Permukaan Tanah di Bentang Alam Mbeliling adalah sebesar 5.200.841,45 tC.

DAFTAR PUSTAKA

- Adinugroho WC, Imanuddin R, Krisnawati H, Ayat A, Wirastami LA. 2020. Cadangan Karbon (C-stock) Bentang Alam Mbeliling. Burung Indonesia-Perhimpunan Pelestarian Burung Liar Indonesia. Bogor, Indonesia.
- Agustin RH. 2016. Pendugaan Biomassa Atas Tegakan menggunakan Citra Landsat 8 di Sektor Cerenti, Area Kerja PT. RAPP [skripsi]. Bogor: Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.
- Agustina YS. 2016. Pendugaan Potensi Biomassa Atas Tegakan Menggunakan Citra Landsat 8 di Areal Kerja PT. Gunung Meranti [skripsi]. Bogor: Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.
- Anaya J, Chuvieco E, Orueta A. 2009. Aboveground Biomass Assessment in Colombia : A Remote Sensing Approach. *Forest Ecology and Management* 257(2009) 1237-1246.
- Andana EK. 2015. Pengembangan Data Citra Satelit Landsat-8 Untuk Pemetaan Area Tanaman Hortikultura Dengan Berbagai Metode Algoritma Indeks Vegetasi (Studi Kasus: Kabupaten Malang Dan Sekitarnya). Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XXII; Surabaya, 24 Januari 2015. Surabaya: Program Studi MMT-ITS . Hlm C-15-1 – C-15-10.
- [BMKG] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 2020. Anomali Suhu Rata-rata Bulan November 2020. <https://www.bmkg.go.id/iklim/?p=ekstrem-perubahan-iklim> [21 Agustus 2020]
- Dewi NMTG. 2018. Model Penduga Biomassa Hutan Lahan Kering Menggunakan Citra Resolusi Tinggi Berbasis Pikel dan Visual di Kalimantan Timur [skripsi]. Bogor: Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.
- [Dirjen PPI]. Direktorat Jendral Pengendalian dan Perubahan Iklim. Nationally Determined Contribution. 2017. Strategi Implementasi NDC. http://ditjenppi.menlhk.go.id/reddplus/images/adminppi/dokumen/strategi_implementation_ndc.pdf. [7 Juli 2021]
- Dlugokencky E, Tans P. 2019. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. National Ocean & Atmospheric Administration, Earth System Research Laboratory. https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/gl_d_ata.html. [18 Agustus 2020]
- Fadhly A. 2011. Pemanfaatan Teknik Penginderaan Jauh untuk Identifikasi Kerapatan Vegetasi Daerah Tangkapan Air Rawa Pening [Tesis]. Semarang: Fakultas Ilmu Sosial. Universitas Negeri Semarang.
- Fadiakhumairah M. 2018. Model penduga sediaan tegakan ekosistem mangrove menggunakan citra resolusi tinggi spot 6 di kabupaten kubu raya, kalimantan barat meranti fadiakhumairah [skripsi]. Bogor: Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.
- Filho MG, Kuplich TM, Quadros FLFD. 2020. Estimating natural grassland biomass by vegetation indices using Sentinel 2 remote sensing data, *International Journal of Remote Sensing*, 41:8, 2861-2876

- Gorelick N, Hancher M, Dixon M, Ilyushchenko S, Thau D, Moore R. 2017. Google Earth Engine : Planetary-scale Geospatial Analysis for Everyone. *Remote Sensing of Environment* 202: 18-27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>. [27 November 2020]
- Hidayati I N, Suharyadi R, Danoedoro P. 2018. Kombinasi Indeks Citra untuk Analisis Lahan Terbangun dan Vegetasi Perkotaan. *Majalah Geografi Indonesia* 32 (1):24-32.
- Hidayatullah MI. 2016. Pendugaan Potensi Biomassa Atas Tegakan Jati (*Tectona grandis* linn.f) Menggunakan Citra Landsat 8 di BKPH Wilangan Selatan KPH Saradan[skripsi]. Bogor: Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.
- [IPCC]. Intergovernmental Panel of Climate Change. 2001. Third Assesment Report of IPCC, Climate Change 2021: The Scientific Basis, Contribution of Working Group 1 to the Third Assesment Report of The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge: Cambridge University Press.
- [IPCC]. Intergovernmental Panel of Climate Change. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Agriculture, Forestry, and Other Land Use vol 4. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>. [18 Agustus 2020].
- Jensen, J. 1995. *Introductory to Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. New Jersey: Prentice Hall.
- Kurniawan H, Yuniati D. 2013. Potensi Simpanan Karbon pada Tiga Tipe Savana di Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea* Vol 4, issue 1. Hlm 51-62.
- Krisnawati et al. 2010. Status Data Cadangan Karbon dalam Biomas Hutan di Indonesia, Buku REDD+ & Forest Governance. Bogor: Pusat Penelitian Sosial Ekonomi dan Kebijakan Kehutanan.
- Mutanga O dan Kumar L. 2019. Google Earth Engine Applications. *International Journal of Remote Sensing*, 11:5, 1-4
- Oktian, Serlina H., Luluk Setyaningsih, Nengsih Anen, Wahyu C. Adinugroho. 2020. Model Pendugaan Cadangan Karbon Menggunakan Citra Sentinel-2A di Bentang Alam Mbeliling, Nusa Tenggara Timur [Skripsi]. Bogor: Fakultas Kehutanan, Universitas Nusa Bangsa.
- Rakhmawati M. 2012. Hubungan Biomassa Penutupan Lahan dengan Indeks Vegetasi di Kabupaten Mamuju Utara, Sulawesi Barat. *Prosiding Globe* 14 (2). 157-169.
- Riza A, Raharja B, Fauzi M. 2011. Klasifikasi Multispektral Penutupan Lahan Citra Alos AV-NIR 2. <https://raharjabayu.wordpress.com/2011/08/10/106/> [10 Oktober 2020]
- Sudiana D. Diasmara E. 2008. Analisis Indeks Vegetasi menggunakan Data Satelit NOAA/AVHRR dan TERRA/AQUA-MODIS. *Prosiding Seminar on Intelligent Technology and Its Applications 2008*. Hlm 423-428.
- Syarif RD. 2011. Penyusunan Model Penduga dan Pemetaan Biomassa Permukaan pada Tegakan Jati (*Tectona grandis* Linn.F) menggunakan Citra Alos Palsar Resolusi 50 m dan 12,5 m [skripsi]. Bogor: Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor
- Xue J, Su B. 2017. Review Article Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications. *Jurnal Hidawi* 2017:1-17. <https://doi.org/10.1155/2017/1353691>