

PENYERAPAN KARBON BERDASARKAN PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN PADA TAMAN NASIONAL TESSO NILO

Fajar Perdana Rizki¹, Endang Hermawan², Agus Susanto³

^{1,3}Magister Studi Lingkungan Program Studi Lingkungan Universitas Terbuka

²Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati - ITB

¹Email : fajarperdanarizki@gmail.com

(Diterima 18 Oktober 2023 |Disetujui 19 Oktober 2023 |Diterbitkan 31 Oktober 2023)

ANALYSIS OF CHANGES IN THE POTENTIAL ECONOMIC VALUE OF ENVIRONMENTAL SERVICES CARBON SEQUESTRATION BASED ON LAND COVER CHANGES IN TESO NIO NATIONAL PARK

ABSTRACT

This study aims to analyze the potential for carbon sequestration of environmental services, the economic value of carbon sequestration of environmental services, and changes in the potential economic value of carbon sequestration of environmental services in National Parks since their designation as National Parks in 2014 through 2021. Research locations were conducted in the area of Tesso Nilo National Park using the descriptive method with interpretation analysis techniques and analysis of land cover maps from the Ministry of Environment and Forestry in 2014 and 2021. Accuracy tests were carried out using the Kappa analysis method with reference to the 2014 SPOT-7 image and the 2021 Sentinel 2 image data, with accuracy results of 94.3% and 93.3%, respectively. From the analysis of the land cover of Tesso Nilo National Park, from 2014 to 2021, there was a loss of carbon stock of 132,282.80 tons C. Meanwhile, based on the analysis of deforestation, the Tesso Nilo National Park area experienced a loss of carbon stock of 1,250,306.40 tons C, which resulted in the economic potential for carbon sequestration of environmental services in Tesso Nilo National Park experiencing a reduction of USD 661,414 to USD 1,322,828 or IDR 10.366.341.6227 to IDR 20.732.683.244. Carbon absorbers for the environment can cost anywhere from USD 6,251,532 to USD 12,503,064 or IDR 97,980,261,036 to IDR 195,960,522,072.00. (IDR. 15,673,- per USD 1,- exchange rate as of Nov. 1, 2022).

Keywords: National Park, Tesso Nilo, Economic Value, Environmental Services, Carbon.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki keanekaragaman hayati tertinggi di dunia, sehingga mendapat julukan sebagai Megadiversity Country. Keanekaragaman hayati ini mencakup ekosistem, spesies, dan genetis yang berada di darat, perairan tawar maupun di pesisir dan laut. Sejarah geologi pembentukan yang berbeda di antara pulau-pulau di Indonesia dan variasi iklim dari bagian barat yang lembab sampai bagian timur yang kering sangat mempengaruhi pembentukan ekosistem dan distribusi binatang dan tumbuhan yang ada di dalamnya. Untuk spesies binatang misalnya, jumlah spesies burung di Indonesia merupakan kelima terbanyak di dunia, keragaman mamalia nomor dua setelah Brasil dan memiliki 1400 spesies ikan. Demikian juga keanekaragaman tumbuhan yang memiliki lebih dari 38.000 spesies (RPJP TNTN 2015-2024, 2015)

Menurut Undang Undang Nomor 32 Tahun 2009, lingkungan merupakan segala sesuatu yang ada di sekitar kita. Lingkungan hidup adalah sebuah kesatuan ruang dengan segala benda dan makhluk hidup di dalamnya termasuk manusia dan perilakunya yang mempengaruhi keberlangsungan perikehidupan dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup yang lainnya. Lingkungan memberikan manfaat bagi kehidupan makhluk hidup melalui jasa lingkungan yang dihasilkannya.

Jasa lingkungan (*enviromental service*) didefinisikan sebagai jasa yang diberikan oleh fungsi ekosistem alam maupun buatan yang nilai dan manfaatnya dapat dirasakan secara langsung maupun tidak langsung oleh para pemangku kepentingan (*stakeholder*) dalam rangka membantu memelihara dan meningkatkan kualitas lingkungan dan kehidupan masyarakat dalam mewujudkan pengelolaan ekosistem secara berkelanjutan.

Hutan merupakan suatu kawasan yang paling dominan dalam menyusun peran jasa lingkungan. Hal ini disebabkan hutan secara alami telah memberikan manfaat dan menyokong kehidupan, baik langsung maupun tidak langsung. Salah satu jasa lingkungan dari hutan adalah jasa penyerapan karbon. Hutan berperan penting dalam perubahan iklim yaitu sebagai penyerap karbon (*sink*) dan penyimpanan karbon (*stock*). Hutan penting terkait dengan kemampuan tegakan hutan untuk menyerap Karbondioksida (CO₂) dan melepaskan Oksigen (O₂) dalam proses fotosintesis. Semakin banyak CO₂ yang diserap oleh tumbuhan dan disimpan dalam bentuk biomassa karbon maka semakin besar pengaruh buruk efek rumah kaca dapat dikendalikan. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa penurunan tiba-tiba dalam keanekaragaman hayati kemungkinan besar terjadi ketika ketersediaan habitat berkurang menjadi persentase kecil dari lanskap (Betts *et al.* 2017).

Penurunan emisi karbon dapat dilakukan dengan: (a) mempertahankan cadangan karbon yang telah ada dengan: mengelola hutan lindung, mengendalikan deforestasi, menerapkan praktek silvikultur yang baik, mencegah degradasi lahan gambut dan memperbaiki pengelolaan cadangan bahan organik tanah, (b) meningkatkan cadangan karbon melalui penanaman tanaman berkayu dan (c) mengganti bahan bakar fosil dengan bahan bakar yang dapat diperbarui secara langsung maupun tidak langsung (angin, biomasa, aliran air), radiasi matahari, atau aktivitas panas bumi (Lasco, 2004).

Secara global kesepakatan internasional yang telah diratifikasi antara lain Protokol Kyoto (UU 17/2004) dan Kesepakatan Paris (UU 16/2016). Kebijakan pembangunan nasional yang memperhatikan pengendalian perubahan iklim antara lain berupa Indonesia's FOLU Net Sink 2030 (SK Menteri LHK 168/2022). Kemudian secara rinci disebutkan dalam ketentuan Pasal 3 ayat (4) Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon, untuk pencapaian kontribusi yang ditetapkan secara nasional, pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca Pembangunan Nasional didukung oleh pengendalian emisi gas rumah kaca sektor kehutanan untuk menjadi penyimpan/penguatan karbon pada tahun 2030 dengan pendekatan carbon net sink dari sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya pada Tahun 2030 (Indonesia's Forestry and Other Land Use (FOLU) Net Sink 2030), yang selanjutnya disingkat Indonesia's FOLU Net Sink 2030, untuk pengendalian perubahan iklim dengan pencapaian Nationally Determined Contribution (NDC), berpijak pada prinsip dasar: Sustainable Forest Management, Environmental Governance, dan Carbon Governance. Kebijakan dan pelaksanaan Indonesia's FOLU Net Sink 2030 dengan upaya pencapaian Nationally Determined Contribution (NDC) mengacu kepada Road Map Nationally Determined Contribution (NDC), Mitigasi, dan Long Term Strategy on Low Carbon and Climate Resilience (LTS-LCCR) 2050. Indonesia's FOLU Net Sink 2030 ini juga

menjadi panduan Indonesia dalam melakukan aksi mitigasi dan adaptasi perubahan iklim.

Forestry and other land uses (FOLU) net sink merupakan keadaan ketika jumlah karbon yang diserap oleh sektor hutan dan lahan sama atau lebih besar dari emisi yang dihasilkannya. Forestry and other land uses (FOLU) net sink menjadi bagian strategi Indonesia untuk menjamin tercapainya tujuan Paris Agreement dengan menahan kenaikan laju suhu bumi di bawah 1,5 derajat Celcius. Indonesia's FOLU Net Sink 2030 sebagai sebuah pendekatan dan strategi dimana pada Tahun 2030, tingkat serapan emisi sektor FoLU ditargetkan sudah berimbang atau lebih tinggi dari pada tingkat emisinya (Rencana Operasional Indonesia“ FOLU Net Sink 2030, 2022).

Sehubungan dengan isu perubahan iklim dan pemanasan global diatas, maka salah satu cara untuk menjaga fungsi jasa lingkungan menyerap/menyimpan karbon adalah dengan merawat dan mempertahankan vegetasi hutan dari kemungkinan kerusakan (deforestasi dan degradasi). Oleh karena itu perlu pendekatan yang komprehensif dan bijaksana dalam mengelola hutan. Pendekatan pengelolaan hutan selama ini cenderung mengabaikan prinsip konservasi dan hanya menggunakan pendekatan ekonomi yang pragmatis. Disinilah urgensi menggunakan pendekatan nilai ekonomi dalam menilai jasa lingkungan suatu kawasan hutan, sehingga pengelolaan suatu kawasan hutan bisa optimal dan sustainable. Penghitungan nilai ekonomi sumber daya alam dengan pendekatan valuasi ekonomi dapat dilakukan untuk mencegah kerusakan sumber daya alam dan lingkungan. Pendekatan valuasi ekonomi dapat dipakai untuk menghitung manfaat ekonomi sumber daya sebelum adanya kegiatan (eksploitasi). Sumber daya sebagai dasar untuk menentukan kesejahteraan yang dirasakan oleh masyarakat sebelum adanya kegiatan eksplotasi dibandingkan dengan setelah adanya kegiatan eksploitasi (Nahib, 2011).

Tiga pilar pembangunan berkelanjutan (ekonomi, sosial-budaya, dan ekologi) seharusnya menjadi salah satu bahan pertimbangan pemerintah dalam mengambil kebijakan, terlebih pada obyek vital yang menyangkut hajat hidup orang banyak (UNCED, 1992). Pendekatan pengelolaan hutan menggunakan pendekatan nilai ekonomi dalam menilai jasa lingkungan suatu kawasan hutan diperlukan, sehingga pengelolaan suatu kawasan hutan bisa optimal dan sustainable. Penghitungan nilai ekonomi sumber daya alam dengan pendekatan valuasi ekonomi dapat dilakukan untuk mencegah kerusakan sumber daya alam dan lingkungan. Pendekatan valuasi ekonomi dapat dipakai untuk menghitung manfaat ekonomi sumber daya sebelum adanya kegiatan (eksploitasi) atau berapa kerugian ekonomi yang akan dialami jika terjadi kerusakan pada hutan sehingga hutan tetap terjaga kelestariannya.

Taman Nasional Tesso Nilo (TNTN) merupakan salah satu Kawasan Hutan dengan fungsi Konservasi yang pada saat ini terus mengalami kehilangan fungsinya dari waktu ke waktu akibat dari perubahan tutupan lahan yang berubah fungsi menjadi perkebunan, berdasarkan hal tersebut, diperlukan analisa terhadap kemampuan Taman Nasional Tesso Nilo menyerap karbon yang menjadi salah satu acuan untuk tetap menjaga kelestarian hutan. Selain itu diperlukan pendekatan pengelolaan hutan menggunakan pendekatan nilai ekonomi dalam menilai jasa lingkungan suatu kawasan hutan. Penghitungan nilai ekonomi pendekatan valuasi ekonomi dapat dilakukan untuk mencegah kerusakan sumber daya alam dan lingkungan. Pendekatan valuasi ekonomi dapat dipakai untuk menghitung manfaat ekonomi sumber daya sebelum adanya kegiatan (eksploitasi) atau berapa kerugian ekonomi yang akan dialami jika terjadi kerusakan pada hutan sehingga hutan tetap terjaga kelestariannya.

Menyikapi kondisi tersebut, maka perlu dilakukan penelitian dengan tujuan menganalisis Perubahan Potensi Nilai Ekonomi Jasa Lingkungan Penyerapan Karbon Berdasarkan Perubahan Tutupan Lahan pada Taman Nasional Tesso Nilo”

METODE PENELITIAN

Dalam menyelesaikan penelitian ini, peneliti menggunakan pendekatan kuantitatif. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dengan teknik analisis interpretasi, analisis peta dan uji akurasi dengan menggunakan metode koefisien Kappa. Interpretasi peta dilakukan untuk mendapatkan data perubahan tutupan lahan. Data dikumpulkan dari peta tutupan lahan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan tahun 2014 dan 2021 (KLHK), analisa data Citra SPOT-7 Tahun 2014 dan data Citra Sentinel 2 tahun 2021, peta batas administrasi kabupaten, dan peta fungsi hutan, daya luas hutan Taman Nasional Tesso Nilo (Ha), stok karbon (C), dan nilai ekonomi serapan CO₂ (Rp). Adapun Instrumen penelitian berupa alat yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu GPS Garmin 64S, Seperangkat Komputer, Perangkat Lunak ArcGis, Kamera, Drone DJI mavic Interprise 2, Alat Tulis. Sedangkan Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah : SPOT-7 Tahun 2014 dan data Citra Sentinel 2 tahun 2021, Peta Batas Kawasan Taman Nasional Tesso Nilo, Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) skala 1 : 50.000.

Penelitian ini akan dilaksanakan di Kawasan Taman Nasional Tesso Nilo, Kab. Pelalawan, Provinsi Riau. Secara astronomis, daerah tersebut terletak pada koordinat 000 05" 40" dan 000 20" 47" LS., dan antara 1010 35"21," dan 1020 03" 57" BT. Waktu Penelitian direncanakan selama 4 (empat) bulan pada Semester IV, dimulai pada bulan Agustus 2022. Metode analisis datanya yaitu menganalisis luas tutupan lahan, pengujian hasil interpretasi citra satelit, penyerapan karbon, nilai ekonomi jasa lingkungan penyerapan karbon.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Perubahan tutupan lahan pada kawasan TNTN

Luas Kawasan TNTN yang digunakan pada penelitian ini adalah nilai luas TNTN berdasarkan data Spatial yang didapatkan melalui perhitungan menggunakan *ArcGIS* dengan luas TNTN adalah +81.648 Ha. Berdasarkan penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan citra satelit beresolusi sedang untuk mengukur dan mengkualifikasi perubahan tutupan lahan mendorong siswa untuk memulai diskusi tentang tanggung jawab sipil, perencanaan masyarakat, dan skenario masa depan (Delahunty *et al.* 2012). Berdasarkan data tutupan lahan dari Kementerian Kehutanan tahun 2014 (pada saat Kawasan Taman Nasional Tersebut secara resmi ditetapkan sebagai Kawasan Taman nasional) dengan menggunakan *Software GIS* dapat dianalisis kondisi dan luas kelas tutupan lahan pada kawasan TNTN pada Tahun 2014 dan Tahun 2021 (data terakhir yang dirilis KLHK pada saat penelitian) dengan menggunakan kodefikasi yang ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Sedangkan penelitian lain menunjukkan bahwa mengingat beberapa keterbatasan citra satelit untuk studi perubahan tutupan lahan, kami menarik perhatian di sini untuk sumber data yang kuat dan sering diabaikan untuk digunakan dalam penelitian mahasiswa: peta topografi USGS. Peta topografi menawarkan cara yang murah, cepat, dan mudah diakses bagi siswa untuk menganalisis perubahan tutupan lahan di area yang luas (McChesney & McSweeney, 2015). Berikut Peraturan Direktur Jenderal Planologi Nomor P.1/VII-IPSDH/2015 yang dapat disajikan pada Tabel 1.

Tabel. 1. Perubahan Masing-Masing Tutupan Lahan TNTN

NO.	KELAS TUTUPAN LAHAN	2014	2021	PERUBAHAN (Ha)
		LUAS (Ha)	LUAS (Ha)	
1	Hutan Lahan Kering Sekunder	23.406	20.904	-2.502
2	Hutan Rawa Sekunder	581	0	-581
3	Hutan Tanaman	5.194	0	-5.194
4	Pertanian Lahan Kering	17.774	0	-17.774
5	Tanah Terbuka	6.904	13.602	6.698
6	Perkebunan	24.999	40.405	15.406
7	Semak Belukar	2.790	6.451	3.661
8	Pemukiman		286	286
Luas		81.648	81.648	

2. Uji Akurasi

Untuk menilai akurasi Peta tutupan lahan TNTN Pada penelitian ini data referensi yang digunakan adalah Citra SPOT-7 tahun 2014, dan Citra Sentinel-2 untuk penilaian Akurasi Peta Tutupan Lahan TNTN Tahun 2021. Tahapan uji akurasi dilakukan dengan menggunakan metode koefisien Kappa. Nilai koefisien Kappa mempunyai rentang 0 hingga 1, dalam proses pemetaan klasifikasi / tutupan lahan nilai akurasi yang dapat diterima yaitu 85% atau 0,85. Uji akurasi klasifikasi tutupan lahan menggunakan 107 titik uji dengan metode purposive sampling/penentuan sampel dengan pertimbangan tertentu. Hasil analisa uji akurasi peta tutupan lahan Kawasan TNTN Tahun 2014 dengan menggunakan referensi citra resolusi tinggi (citra SPOT-7 liputan 2014) dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel. 2. Tabel Confusion Matrix Tutupan Lahan Tahun 2014

KLASIFIKASI	Hs	Rrs	Ht	Pt	T	Pk	B	JUMLAH
Hutan Lahan Kering Sekunder	16	0	0	0	0	0	0	16
Hutan Rawa Sekunder	0	2	0	0	0	0	0	2
Hutan Tanaman	0	0	14	0	0	0	0	14
Pertanian Lahan Kering	0	0	0	24	0	2	0	26
Tanah Terbuka	1	0	0	0	14	1	0	16
Perkebunan	0	0	0	0	0	23	0	23
Semak Belukar	1	0	0	0	0	0	9	10
JUMLAH	18	2	14	24	14	26	9	107

2014	Hs	Rrs	Ht	Pt	T	Pk	B
Prods. Accuracy	88,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	88,5%	100,0%
Users Accuracy	100,0%	100,0%	100,0%	92,3%	87,5%	100,0%	90,0%
Overall Accuracy	95,3%						
Kappa Statistics	94,3%						

Sedangkan hasil analisis uji akurasi peta tutupan lahan Kawasan TNTN Tahun 2014 dengan menggunakan referensi citra resolusi tinggi (citra SPOT-7 liputan 2014) dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel. 3. Tabel Confusion Matrix Tutupan Lahan Tahun 2021

KLASIFIKASI	Hs	B	Pk	Pm	T	JUMLAH
Hutan Lahan kering Sekunder	13	0	0	0	1	14
Semak Belukar	0	6	0	0	0	6
Perkebunan	0	0	65	0	2	67
Pemukiman	0	0	0	1	0	1
Tanah Terbuka	0	0	1	0	18	19
JUMLAH	13	6	66	1	21	107

2021	Hs	B	Pk	Pm	T
Prods. Accuracy	100,0%	100,0%	98,4%	100,0%	85,7%
Users Accuracy	92,8%	100,0%	97,0%	100,0%	94,7%
Overall Accuracy	96,2%				
Kappa Statistics	93,3%				

Berdasarkan analisis matrik kesalahan (error matrix) pada diatas, hasil uji akurasi interpretasi tutupan lahan TNTN Tahun 2014 diperoleh nilai Overall Accuracy Sebesar 95,3% dan Kappa Accuracy sebesar dan 94,3% (koefisien 0,9), sedangkan hasil uji akurasi interpretasi tutupan lahan TNTN Tahun 2021 diperoleh nilai Overall Accuracy Sebesar 96,% dan Kappa Accuracy sebesar dan 93,3% (koefisien 0,9). Nilai akurasi tersebut termasuk dalam kategori sangat baik (very good agreement). Menurut Bodzin (2011) instruksi eksplisit diperlukan bagi peserta didik tersebut untuk menggunakan keterampilan berpikir spasial dengan RS dan citra udara dan data spasial lainnya untuk menyelidiki perubahan tutupan lahan.

Dengan menggunakan fasilitas intersect pada Aplikasi ArcGis 10.8 dapat dianalisis pola perubahan tutupan lahan kawasan TNTN pada Tahun 2014 menjadi tutupan lahan pada Tahun 2021 dan dapat disajikan dalam bentuk Matrik Transisi Perubahan Penggunaan Lahan Periode Tahun 2014-2021 pada masing-masing klas tutupan lahan seperti tersaji pada Tabel 4.

Tabel. 4. Matrik Transisi Perubahan Tutupan Lahan TN Tesso Nilo

TUTUPAN LAHAN TAHUN 2014	TUTUPAN LAHAN TAHUN 2021					JUMLAH
	Hs	T	Pk	B	Pm	
Hutan Lahan Kering Sekunder	15.152	2.536	3.037	2.681		23.406
Hutan Rawa Sekunder	133	159	267	22		581
Hutan Tanaman	2.342	1.005	1.312	530	5	5.194
Pertanian Lahan Kering	975	3.793	11.835	985	186	17.774
Tanah Terbuka	438	1.574	4.187	664	41	6.904
Perkebunan	1.785	3.728	17.990	1.444	52	24.999
Semak Belukar	100	801	1.768	119	2	2.790
JUMLAH	20.925	13.596	40.396	6.445	286	81.648

3. Deforestasi Akibat Perubahan Tutupan Lahan TNTN

Secara sederhana deforestasi didefinisikan sebagai perubahan tutupan suatu wilayah dari berhutan menjadi tidak berhutan, dari suatu wilayah yang sebelumnya memiliki tajuk berupa hutan (vegetasi pohon dengan kerapatan tertentu) menjadi bukan hutan (bukan vegetasi pohon atau bahkan tidak bervegetasi). Definisi tersebut diperkuat dengan Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor 70 Tahun 2017 tentang Tata Cara Pelaksanaan Reducing Emissions From Deforestation And Forest Degradation, Role Of Conservation, Sustainable Management Of Forest And Enhancement Of Forest Carbon Stocks yang menyatakan secara tegas bahwa deforestasi adalah perubahan secara permanen areal hutan menjadi tidak berhutan. Menurut Dissanayake & Jacobson (2021) deforestasi terjadi ketika masyarakat yang tinggal di dalam atau di dekat hutan memanen kayu bakar dan bahan lainnya dan ketika mereka mengubah hutan menjadi lahan pertanian. Sehingga akan berdampak pada keadaan

sosial ekonomi masyarakat tersebut. Menurut Van Dijk *et al.* (2009) dampak dari deforestasi hutan yang mengakibatkan banjir, kekeringan, atau fluktuasi suhu lokal, juga dapat berdampak pada aktivitas sosial ekonomi. Hasil penelitian yang sebelumnya menunjukkan bahwa perubahan lingkungan terkait deforestasi hutan juga dapat berdampak pada kesehatan manusia, terutama terkait dengan penyebaran virus seperti malaria dan demam berdarah (Hammen dan Settele, 2011).

Hasil analisa luas Deforestasi yang terjadi pada kawasan TNTN pada kurun waktu Tahun 2014 sampai dengan Tahun 2021 didapatkan dari analisa perubahan luas tutupan lahan yang masuk kedalam kategori kelas hutan pada masing-masing klas tutupan lahan yang mengalami perubahan tutupan lahan menjadi Kelas Non hutan pada Tahun 2021. Data yang didapatkan hasil analisa tersebut dapat disajikan seperti Tabel 5.

Tabel. 5. Luas Deforestasi Kawasan TN Tesso Nilo

NO	2014 (Semula)	TAHUN				Luas Total (HA)
		Kelas Tutupan Lahan	Luas (HA)	2021 (Menjadi)	Persentase (%)	
1	Hutan Lahan Kering Sekunder	23.406	Semak Belukar	2.681	11,45	8.254
			Perkebunan	3.037	12,98	
			Tanah Terbuka	2.536	10,83	
2	Hutan Rawa Sekunder	581	Semak Belukar	22	3,79	448
			Perkebunan	267	45,96	
			Tanah Terbuka	159	27,37	
3	Hutan Tanaman	5.194	Semak Belukar	530	10,20	2.852
			Perkebunan	1.312	25,26	
			Pemukiman	5	0,10	
			Tanah Terbuka	1.005	19,35	
JUMLAH		29.181		11.554	39,59	11.554

Sumber : Pengolahan data penelitian, 2022

Dari analisis data luasan perubahan kelas hutan menjadi kelas non hutan diatas didapatkan angka Deforestasi Gross (perubahan secara permanen tutupan hutan alam tanpa memperhitungkan pertumbuhan kembalikawasan TNTN pada kurun waktu 2014 sampai dengan 2021 seluas 11.554 Ha yang merupakan 39,59 % dari luas Kelas Hutan pada kawasan TNTN atau 14,15 % dari total keseluruhan Luas Kawasan TNTN. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa Satu studi baru-baru ini menemukan bahwa deforestasi dan konversi lahan pertanian di Kenya Barat menyebabkan hilangnya 12,5% kawasan hutan antara tahun 2001 dan 2017 (Kogo, B. K., Kumar, L., & Koeh, R., 2019).

Selain terjadi Deforestasi, pada beberapa tutupan lahan kawasan TNTN juga terjadi Reforestasi atau penghutanan kembali dari tutupan lahan kategori Non hutan menjadi tutupan lahan dengan kategori Hutan. Luasan Reforestasi yang terjadi pada kawasan TNTN dalam kurun waktu 2014 sampai dengan 2021 dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel. 6. Luas Reforestasi Kawasan TNTN

NO	2014	TAHUN			
		Kelas Tutupan Lahan	Luas (HA)	2021	Persentase (%)
1	Pertanian Lahan Kering	17.774	Hutan Lahan kering Sekunder	975	5,49
2	Tanah Terbuka	6.904	Hutan Lahan kering Sekunder	438	6,34
3	Perkebunan	24.999	Hutan Lahan kering	1.785	7,14

NO	2014		TAHUN		2021	
	Kelas Tutupan Lahan	Luas (HA)	Kelas Tutupan Lahan	Luas (HA)	Persentase (%)	
4	Semak Belukar	2.790	Sekunder Hutan Lahan kering Sekunder	100	3,58	
JUMLAH		52.467		3.298	6,29	

Sumber : Hasil Olah Data penelitian, 2022

Total keseluruhan Reforestasi yang terjadi pada kawasan TNTN pada kurun waktu tahun 2014 sampai dengan tahun 2021 adalah seluas **3.298** Ha yang merupakan 6,29 % dari luas Kelas Non hutan kawasan TNTN atau 4,04 % dari total keseluruhan luas kawasan TNTN. Selanjutnya berdasarkan data mengenai luas Deforestasi *Gross* dan luas Reforestasi pada kawasan TNTN selama kurun waktu Tahun 2014 sampai dengan Tahun 2021 dapat diketahui luasan Deforestasi *Nett* (perubahan secara permanen tutupan hutan, dengan memperhitungkan pertumbuhan dan pembuatan hutan tanaman, Permen LHK No. 70 Tahun 2017) pada kurun waktu 2014 sampai dengan 2021 yang diperoleh dari perhitungan luas Deforestasi *Gross* dikurangi dengan luas Reforestasi pada kawasan TNTN, yakni seluas **8,256** Ha atau 10,11 % dari total luasan kawasan TNTN. rubahan Serapan karbon kawasan TNTN. Pemerintah memiliki kewenangan dalam mengatasi reforestasi tuhan yang terjadi, menurut Andersson dan Gibson (2010) bahwa kinerja kelembagaan lokal mempengaruhi deforestasi yang tidak sah langsung dan tidak langsung, tetapi tidak mendeteksi efek pada deforestasi yang diizinkan.

Jika dilihat dari perubahan tutupan lahan pada masing-masing kelas tutupan lahan pada kawasan TNTN, dapat dianalisa pola perubahan stok karbon yang terjadi pada masing-masing kelas tutupan lahan kawasan TNTN tersebut dari Tahun 2014 sampai dengan Tahun 2021, Nilai stok karbon dari masing-masing tutupan lahan tersebut didapatkan dari hasil luas setiap tipe tutupan lahan dikalikan dengan angka stok carbon pada masing-masing kelas tutupan lahan. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa aplikasi arang ke tanah dapat meningkatkan stok karbon organik untuk jangka waktu yang lama, yang dapat menjadi sangat penting untuk mitigasi perubahan iklim dan peningkatan kesuburan tanah (Lindsay, 2017). Hal ini diperkuat dengan peneliatan lain yan menatakan bahwa hutan hujan tropis menyimpan karbon dalam jumlah besar baik dalam biomassa di atas permukaan tanah (AGB) dan tanah (Pan *et al.* 2011).

Menurut Schedlbauer, Nadolny, dan Woolfrey (2016) menatakan bahwa ukuran biometrik biomassa pohon ini terus menjadi alat yang berharga dalam membantu para ilmuwan menentukan jumlah karbon yang tersimpan di hutan dunia, sebuah topik tentang meningkatnya minat sebagai hasil perubahan iklim. Sedangkan menurut laporan IPCC, emisi karbon terkait energi, terutama dari pembakaran bahan bakar fosil untuk suplai panas, pembangkit listrik, dan transportasi, menyumbang sekitar 80% dari total emisi karbon (IPCC, 2007). Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Tahun 2020 oleh Kementerian Lingkungan hidup dan Kehutanan dan beberapa sumber lainnya seperti pada Tabel 7.

Tabel. 7. Stok Karbon Masing-Masing Kelas Tutupan Lahan TNTN

No.	Kode	Penutupan Lahan	Stok Karbon (ton C/ha)	Sumber Data
1.	2002	Hutan Lahan Kering Sekunder	182,2	KLHK.Lap IGRK 2020
2.	20051	Hutan Rawa Sekunder	151,4	KLHK.Lap IGRK 2020

No.	Kode	Penutupan Lahan	Stok Karbon (ton C/ha)	Sumber Data
3.	2006	Hutan Tanaman	98	Litbanghut, 2014
4.	2010	Perkebunan	63	Juknis PEP RAD GRK, 2013
5.	2007	Semak Belukar	30	Juknis PEP RAD GRK, 2013
5.	20091	Pertanian Lahan Kering	10	Juknis PEP RAD GRK, 2013
7.	2012	Pemukiman	4	Juknis PEP RAD GRK, 2013
8.	2014	Tanah Terbuka	2,5	NFI (1996-2013), 2014

Deforestasi dan degradasi yang signifikan juga menghancurkan keanekaragaman hayati dan berdampak pada jasa lingkungan hutan. Di beberapa kawasan hutan, hal ini juga mengakibatkan penurunan jumlah pohon dan cadangan karbon. Dengan penebangan banyak pohon, hutan kehilangan kemampuannya untuk menyimpan karbon dan memberikan manfaat lingkungan lainnya (Stone *at al.* 2010). Untuk memahami bagaimana konsumsi energi memengaruhi siklus perubahan karbon membutuhkan pengetahuan tentang beberapa konsep dan proses sains penting, termasuk materi, energi, dan proses transformasi karbon (Jin, Mehl, dan Lan, 2015). Hasil analisa perubahan Stok karbon pada masing-masing kelas tutupan lahan TNTN pada tahun 2014 dan Tahun 2021 tersebut dapat disajikan pada Tabel 8.

Tabel. 8. Perubahan Stok Karbon Pada Masing-Masing Kelas Tutupan lahan TN Tesso Nilo tahun 2014-2021

NO.	KELAS TUTUPAN LAHAN	STOK KARBON TAHUN 2014 (ton C)	STOK KARBON TAHUN 2021 (ton C)	PERUBAHAN STOK ARBON (ton C)
1	Hutan Lahan Kering Sekunder	4.264.573,20	3.808.708,80	-455.864,40
2	Hutan Rawa Sekunder	87.963,40		-87.963,40
3	Hutan Tanaman	509.012,00		-509.012,00
4	Pertanian Lahan Kering	177.740,00		-77.740,00
5	Tanah Terbuka	17.260,00	34.005,00	16.745,00
6	Perkebunan	1.574.937,00	2.545.515,00	970.578,00
7	Semak Belukar	83.700,00	193.530,00	109.830,00
8	Pemukiman		1.144,00	1.144,00
JUMLAH		6.715.185,60	6.582.902,80	-132.282,80

Sumber : Hasil Olah Data penelitian, 2022

Pada Tabel 8. dari hasil analisa Luas kawasan pada masing-masing kelas tutupan lahan dan jumlah stok karbon . Ha pada masing-masing kelas tutupan lahan tersebut didapatkan kesimpulan bahwa sejak Tahun 2014 sampai dengan Tahun 2021 pada keseluruhan kawasan TNTN mengalami pengurangan stok karbon sebanyak **132.282,80** Ton C, dari sebelumnya pada Tahun 2014 sebanyak **6.715.185,60** Ton C menjadi **6.582.902,80** Ton C pada Tahun 2021. Hal ini dikarena adanya restorasi pembukaan lahan, sehingga mengalami kekurang karbo. Berdasarkan penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa Cagar Hutan Kakamega, sisa bekas hutan hujan Afrika tengah, dan Cagar Hutan Marenji, hutan pantai kecil di Kenya tenggara, mengalami peningkatan moderat dalam luas hutan dan karbon di atas tanah yang sesuai (Thieme *et al.* 2022).

Selain itu untuk mengatasi pengurangan karbon dapat dilakukan dengan praktik budaya yang terkait dengan pengurangan karbon dioksida, merujuk pada pembelajaran atau

instruksi guru tentang praktik budaya atau dalam kaitannya dengan pengurangan emisi karbon dioksida. Kami membuat lima kategori dalam tema praktik budaya yang terkait dengan pengurangan karbon dioksida: (a) pengamatan budaya dan masyarakat, (b) praktik budaya yang dirasakan, (c) makanan dan sumber daya lokal, (d) konservasi, dan (e) sumber energi alternatif (Macalalag, Johnson, dan Lai, 2020). Hidup ramah iklim juga bisa menjadi pola hidup yang harus dilakukan agar bisa mengatasi pengurangan karbon yang dikarenakan oleh deforests hutan. Hal ini dukungan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa menunjukkan perilaku ramah iklim seperti mengembangkan strategi untuk mengurangi jejak karbon sekolah mereka, menjadi konsumen energi dan air yang sadar, dan memberi tahu orang lain tentang perubahan iklim saat mereka mengembangkan tindakan (Yildirim Tasti dan Akar, 2021).

Menurut Higher Education Funding Council (HEFCE), total konsumsi energi dan sumber daya sektor menyumbang emisi karbon yang dihitung sebesar 3,34 juta ton CO₂. Akibatnya telah menetapkan target yang menantang untuk mengurangi emisi karbon masing-masing sebesar 43 dan 83 persen pada tahun 2020 dan 2050, dibandingkan dengan tingkat dasar pada Tahun 1990, sejalan dengan Undang-Undang Perubahan Iklim Inggris Tahun 2008 (HEFCE, 2010).

4. Nilai Ekonomi Penyerap Karbon Kawasan TNTN

Harga karbon yang ditetapkan oleh REDD+ bervariasi, yang umum digunakan di Indonesia mulai dari US\$5/ton CO₂-e hingga US\$10/ton CO₂-e tergantung pada berbagai hal antara lain adalah kondisi kegentingan kondisi atmosfer pada saat itu, tipe ekosistem, jenis hutan, dan sebagainya (Djaenudin, 2014). Menurut Rikaro, *at al.* (2014) Di Hutan Diklat Pondok Buluh, nilai ekonomi cadangan karbon per hektar tegakan pohon berkisar antara Rp 30.431.700 hingga 40.575.600. Menurut Saloh dan Clough (2002) menyatakan bahwa harga karbon dalam perdagangan karbon adalah US\$15 - 20 US\$ per ton karbon yang terserap. Dengan konversi Rp 14.000,00, harga karbon per ton ditentukan dari statistik pasar global Tahun 2010 (Ullman *et al.* 2012). Dengan asumsi nilai kurs Rupiah terhadap Dolar Amerika adalah Rp. 15,673,- per USD 1,- (Nilai Kurs Tanggal 1 Nov 2022) maka didapatkan nilai ekonomi jasa lingkungan penyerap karbon pada kawasan TNTN sebagaimana disajikan pada Tabel 9.

Tabel. 10. Perubahan Nilai Jasa Lingkungan Penyerap Karbon Pada TN Tesso Nilo

NO	KELAS TUTUPAN LAHAN	PERUBAHAN STOK KARBON (ton C)	DOLAR (USD)		RUPIAH (Rp)	
			Min (5 USD)	Max (10 USD)	Min	Max
1	Hutan Lahan Kering Sekunder	-455.864,40	2.279.322,00	4.558.644,00	35.723.813.706,00	71.447.627.412,00
2	Hutan Rawa Sekunder	-87.963,40	439.817,00	879.634,00	6.893.251.841,00	13.786.503.682,00
3	Hutan Tanaman	-509.012,00	2.545.060,00	5.090.120,00	39.888.725.380,00	79.777.450.760,00
4	Pertanian Lahan Kering	-177.740,00	888.700,00	1.777.400,00	13.928.595.100,00	27.857.190.200,00
5	Tanah Terbuka	16.745,00	83.725,00	167.450,00	1.312.221.925,00	2.624.443.850,00
6	Perkebunan	970.578,00	4.852.890,00	9.705.780,00	76.059.344.970,00	152.118.689.940,00
7	Semak Belukar	109.830,00	549.150,00	1.098.300,00	8.606.827.950,00	17.213.655.900,00
8	Pemukiman	1.144,00	5.720,00	11.440,00	89.649.560,00	179.299.120,00
JUMLAH		- 132.282,80	661.414,00	1.322.828,00	10.366.341.622,0	20.732.683.244,00

Sumber : Hasil Olah Data penelitian, 2022

Secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa Kawasan TNTN mengalami pengurangan Stok karbon sebesar 132.282,80 Ton C yang mengakibatkan Kawasan TNTN Mengalami penurunan Nilai jasa Ekonomi Penyerap Karbon antara **USD 661.414 s.d USD 1.322.828 atau Rp10.366.341.6227 s.d Rp20.732.683.244**. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa Kawasan Kebun Raya Jompie Parepare (KRJP) sangat bergantung pada penduduk setempat, baik secara langsung maupun tidak langsung. Nilai ekonomi penghematan karbon sebesar Rp 7.845.899 per tahun, sedangkan manfaat dari penyimpanan karbon sebesar 60,67 ton per tahun. (Ichwan, 2021). Menurut Anshori (2016), Bank Dunia menetapkan harga seragam untuk karbon sebesar \$10 per ton yang disimpan. Dengan mengacu pada hal tersebut, maka dapat ditentukan potensi nilai ekonomi karbon yang tersimpan, yaitu sebesar US\$10.277.130,60. Potensi nilai ekonomi karbon yang tersimpan adalah Rp 123.325.567.200,00 (Rp 123,325 miliar) setiap tahun jika kurs satu dolar AS adalah Rp 12.000,00.

5. Analisis Perubahan Nilai Ekonomi Jasa Lingkungan penyerap Karbon Hutan Kawasan TNTN

Reduksi gas CO₂ (carbon sequestration) dari atmosfer bumi yang paling efektif dan sangat murah biayanya hanyanya melalui proses fotosintesis yang dilakukan oleh semua jenis biota yang mempunyai sel-sel klorofil. Berkaitan dengan peranan sekeustrasi karbon, maka ekosistem hutan dengan sendirinya menjadi ekosistem yang paling penting. Hanya ekosistem hutan dapat dikendalikan untuk dapat dipertahankan dalam jangka waktu yang relatif panjang agar tidak dikonversi kedalam penggunaan lain. Menurut Hairiah dan Rahayu dalam (Mardiana, Udiansyah, dan Pitri, 2018), tumbuhan dapat meminimalkan emisi gas CO₂ dengan cara menyerap gas CO₂ selama proses fotosintesis yang dibantu oleh klorofil, air, dan sinar matahari untuk membentuk karbohidrat yang menjadi sumber energi utama tumbuhan. Sementara itu imbal jasa melalui skema Pekanisme Produksi bersih tidak meliputi penyimpan stok karbon yang berada dalam substansi yang sudah ditebang, melainkan durasi pemberian nilai jasa berakhir ketika pohon-pohon hutan telah ditebang sebagai masa berakhirnya tenor perjanjian mempertahankan stok karbon. Menurut Rose (2010) bahwa penyerapan karbon mengatasi masalah lingkungan yang dipicu oleh penemuan manusia dan pencapaian teknik.

Meskipun ketergantungan proses lingkungan untuk menyediakan sumber daya penting dan layanan ekosistem, seperti pemurnian makanan dan udara, pemahaman kami tentang interkoneksi antara lingkungan dan aktivitas teknologi seringkali tidak cukup untuk memprediksi dampak teknologi terhadap lingkungan. Hasil penelitian Fargione *et al.* (2018) menunjukkan bahwa dengan meningkatkan penyerapan karbon melalui biomassa tumbuhan, yang dapat memangkas emisi karbon global sebesar 63%, Amerika Serikat memiliki potensi terbesar untuk memitigasi perubahan iklim (menurunkan emisi karbon). Sedangkan menurut Yovanda, Juniah, dan Yulianita (2022), nilai ekonomi manfaat penyerapan karbon yang dihasilkan senilai Rp 9.960.926.612,01 pada harga Tahun 2022 untuk total perhitungan dari Tahun 2012-2026. Hal ini menunjukkan bahwa cukup besar nilai jasa manfaat yang dihasilkan dari penyerapan karbon jika lahan bekas tambang dimanfaatkan sebagai penyerap karbon.

Berdasarkan konteks diatas maka nilai ekonomi jasa lingkungan yang dapat diperhitungkan sebagai nilai ekonomi jasa lingkungan penyerap karbon pada kawasan TNTN berdasarkan tutupan lahan adalah nilai karbon pada tutupan lahan yang masuk dalam kategori tutupan hutan, dalam hal ini adalah tutupan hutan dengan kelas Hutan Lahan Kering Sekunder, hutan Rawa Sekunder, dan Hutan Tanaman. Dengan demikian maka analisa perubahan nilai ekonomi jasa lingkungan serapan karbon berdasarkan

tutupan lahan pada kawasan TNTN adalah berdasarkan analisa Deforestasi *Nett*. Dengan demikian maka analisa perubahan nilai ekonomi penyerapan karbon pada TNTN Tahun 2014 sampai dengan Tahun 2021 terkait Deforastasi *Nett* (8,256 Ha). Dengan analisis perubahan stok karbon yang disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Perubahan Stok Karbon Akibat Deforestasi

No.	Tutupan Hutan (2014)	Luas (HA)	Jumlah Stok Karbon (Ton C)	Jumlah Deforestasi (HA)	Karbon Deforestasi (Ton C)	Sisa Karbon (Ton C)
1	Hutan Lahan Kering Sekunder	23.406,00	4.264.573,20	8.254,00	1.503.878,80	2.760.694,40
2	Hutan Rawa Sekunder	581,00	87.963,40	448,00	67.827,20	20.136,20
3	Hutan Tanaman	5.194,00	509.012,00	2.852,00	279.496,00	229.516,00
JUMLAH		29.181,00	4.861.548,60	11.554,00	1.851.202,00	3.010.346,60

Sumber : Hasil Olah Data penelitian 2022

Pada Tabel 10. terlihat bahwa akibat adanya Deforestasi pada kawasan TNTN pada kurun waktu tahun 2014 sampai dengan tahun 2021, kawasan TNTN mengalami kehilangan Stok Karbon Hutan sebanyak 1.851.202,00 Ton C, sehingga Stok Karbon tutupan lahan Berhutan tersisa Sebanyak 3.010.346,60 Ton C pada Tahun 2021 yang sebelumnya pada Tahun 2014 terdapat 4.861.548,60 Ton C Hutan pada kawasan tersebut. Menurut Indrapraja dan Rahaju (2013), vegetasi yang rimbun dan keadaan lingkungan yang mendukung akan meningkatkan jumlah karbon yang tersimpan. Diameter tumbuhan menentukan berapa banyak karbon yang dapat disimpannya; semakin lebar diameter tanaman berkayu, semakin banyak karbon yang dapat disimpannya. Berdasarkan laporan SNC dalam Saputra, Hardiansyah, dan Fahrizal (2018) mengatakan bahwa tujuannya adalah untuk mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 26% pada Tahun 2020, atau 0,767 GtonCO_{2e}, dengan potensi mencapai 41% jika ada dukungan keuangan internasional. Sementara itu dalam kurun waktu Tahun 2014 sampai dengan Tahun 2021, kawasan TNTN juga mengalami Reforestasi yang dapat meningkatkan jumlah serapan karbon pada kawasan Temen Nasional Tesso Nilo seperti tercantum pada Tabel. 11.

Tabel 11. Perubahan Stok Karbon Akibat Reforestasi.

No.	Tutupan Lahan (2014)	Luas (HA)	Tutupan Lahan 2021	Luas (HA)	Stok Karbon Ton/Ha	Jumlah Stok Karbon (Ton C)
1	Pertanian Lahan Kering	17.774	Hutan Lahan kering Sekunder	975	182,20	177.645
2	Tanah Terbuka	6.904	Hutan Lahan kering Sekunder	438	182,20	79.804
3	Perkebunan	24.999	Hutan Lahan kering Sekunder	1.785	182,20	325.227
4	Semak Belukar	2.790	Hutan Lahan kering Sekunder	100	182,20	18.220
JUMLAH		52.467		3.298		600.896

Sumber : Hasil Olah Data penelitian 2022

Pada Tabel 11. terlihat ada beberapa tutupan lahan kategori Non-Hutan yang berubah menjadi Hutan dengan kelas hutan Lahan Kering Sekunder kawasan TNTN mendapatkan tambahan serapan karbon hutan sebanyak 600.890 Ton C. Menurut Biney (2019) bahwa aktivitas 'galamsey' di Ghana telah mengakibatkan degradasi serius tutupan vegetasi hutan, tanah, dan badan air utama yang tercemar dalam beberapa tahun terakhir. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambangan terbuka

menyumbang sekitar 58% dari deforestasi kawasan, hilangnya 45% lahan pertanian, serta efek limpahan dari perluasan aktivitas penambangan di hutan lindung (Eshun, A.F., 2017). Dengan demikian maka dari hasil analisa Deforestasi *Nett* seluas 8,256 Ha pada kawasan maka Taman Nasional Tesso Nilo selama kurun waktu tahun 2014 sampai dengan tahun 2021 menyebabkan kawasan TNTN kehilangan Potensi Jasa lingkungan penyerap karbon hutan sebanyak 1.250.306,40 Ton C, yang semula sebanyak 4.861.548,60 Ton C tersisa menjadi 3.611.242,20 Ton C, seperti terlihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Serapan Karbon Akibat Deforestasi *Nett*

No	Tutupan Hutan (2014)		Stok Karbon (Ton C)	Karbon Deforestasi (Ton C)	Karbon Reforestasi (Ton C)	Karbon Reforestasi <i>Nett</i> (Ton C)	Stok Karbon 2021 (Ton C)
1	Hutan Kering Sekunder	Lahan	4.264.573,20	1.503.878,80	600.895,60	902.983,20	3.361.590,00
2	Hutan Sekunder	Rawa	87.963,40	67.827,20	-	67.827,20	20.136,20
3	Hutan Tanaman		509.012,00	279.496,00	-	279.496,00	229.516,00
JUMLAH			4.861.548,60	1.785.325,20	600.895,60	1.250.306,40	3.611.242,20

Sumber : Hasil Olah Data 2022

Hasil analisa Nilai Ekonomi Jasa Lingkungan Penyerap Karbon pada kawasan TNTN jika berdasarkan analisa Deforestasi *Nett* pada kawasan tersebut ditemukan perubahan berupa turunnya nilai ekonomi jasa lingkungan penyerap karbon sebesar USD 6.251.532 sampai dengan USD 12.503.064 atau Rp Rp 97.980.261.036 sampai dengan Rp Rp 195.960.522.072,00. Hasil penelitian Barus.S.P, dan Kuswanda. W. (2016) sebelumnya menunjukkan bahwa nilai rata-rata simpanan karbon di atas permukaan tanah Above Ground Carbon (AGC) sebesar 63,777 mg/ha sedangkan Below Ground Carbon (BGC) sebesar 14,031 mg/ha. Nilai ekonomi simpanan karbon hutan mangrove SMKG sebesar Rp 83.187.215.641,-. Rata-rata nilai ekonomi hutan mangrove SMKG sebagai habitat satwaliar sebesar Rp 3.211.074.666,- dan sebagai pencegah abrasi sebesar Rp 6.369.743.333,-. Total nilai ekonomi jasa lingkungan hutan mangrove di SMKG untuk saat ini adalah sebesar Rp 92.768.033.640.

Tabel 13. Nilai Ekonomi Jasa Lingkungan Penyerap Karbon Akibat Deforestasi *Nett*

Karbon (Ton C)	Karbon (Ton C)	DOLAR (USD)		RUPIAH (Rp. 15.673/USD)	
		Min (5 USD)	Max (10 USD)	Min	Max
2014	4.861.548,60	24.307.743,00	48.615.486,00	380.975.256.039,00	761.950.512.078,00
Deforestasi <i>Nett</i> (2021)	1.250.306,40	6.251.532,00	12.503.064,00	97.980.261.036,00	195.960.522.072,00
2021	3.611.242,20	18.056.211,00	36.112.422,00	282.994.995.003,00	565.989.990.006,00

Sumber : Hasil Olah Data 2022

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi pertimbangan bagi para pemangku kebijakan terutama Balai TNTN dalam perencanaan pengelolaan Kawasan Teso Nilo untuk memperhatikan aspek lingkungan agar terwujud pembangunan secara berkelanjutan. Selain itu diharapkan dengan adanya penelitian ini, Balai TNTN dapat menyusun rencana mitigasi penurunan emisi gas rumah kaca yang berbasis lahan sebagai kontribusi bagi Indonesia secara khusus dan dunia secara global agar seiring dengan kebijakan *Indonesia's FOLU Net Sink 2030* yang merupakan bentuk komitmen Indonesia dalam mendorong penurunan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) sektor kehutanan, hasil penelitian ini juga dapat menjadi acuan dalam merumuskan strategi pelaksanaan aksi mitigasi dengan mengoptimalkan informasi geospasial yang lebih detail, lebih mutakhir, dan lebih sesuai dengan keadaan nyata pada tingkat tapak, diharapkan dengan mengetahui nilai ekonomi potensi jasa lingkungan penyerap karbon

maka langkah menuju perdagangan karbon internasional akan lebih mudah karena telah terdapat data lengkap terkait produk yang dijual dalam hal ini potensi karbon, harga karbon yang tinggi akan menarik minat masyarakat sekitar hutan untuk mempertahankan cadangan karbon dalam hutan untuk perdagangan karbon di masa yang akan datang.

Untuk itu maka perlu adanya dukungan Pemerintah Pusat (KLHK), Perguruan Tinggi, NGO nasional dan internasional dalam rangka memperkuat *capacity building* kelembagaan untuk menyiapkan dan menerapkan *Road Map Nationally Determined Contribution* (NDC) Mitigasi, dan *Long Term Strategy on Low Carbon and Climate Resilience* (LTS-LCCR) 2050. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa melestarikan lingkungan alam yang ada dan mengubah lingkungan binaan dengan membangun trotoar yang menghubungkan, taman untuk bermain, dan jalan setapak untuk mendaki, akan meningkatkan kesehatan fisik dan mental anak-anak, serta menurunkan emisi karbon (Durrwachter-Erno *et al.* 2021).

Saran untuk peneliti yang akan melanjutkan penelitian ini adalah agar melakukan analisa klasifikasi tutupan lahan yang lebih spesifik / menggunakan Citra satelit dengan resolusi yang lebih tajam, memperbanyak eksplorasi analisa pada penggunaan software GIS dan penginderaan jauh lainnya, menambah referensi terkini untuk mendapatkan hasil yang lebih maksimal, melakukan kajian lebih dalam terhadap nilai ekonomi karbon berbasis lahan suatu wilayah. Menambah Analisa faktor lain seperti faktor kebakaran, jenis tanah, iklim, dan lain-lain untuk mendapatkan hasil analisa yang lebih akurat, dan melakukan Analisa terkait Nilai jasa lingkungan yang lainnya seperti Nilai Ekonomi Pohon, Nilai Ekonomi Kayu Bakar, Nilai Ekonomi Tanaman Hias, Nilai Ekonomi Keberadaan Kawasan, Nilai Ekonomi Satwa, Nilai Ekonomi Tanaman Obat dan lain sebagainya yang terkandung pada kawasan TNTN.

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian dari hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa berdasarkan hasil analisa tutupan lahan TN Tesso Nilo dari periode tahun 2014 sampai dengan tahun 2021 mengalami peningkatan Stok karbon sebesar 4.277,80 Ton C. Namun jika dianalisa berdasarkan Deforestasi yang terjadi, kawasan TN Tesso Nilo mengalami kehilangan Stok Karbon sebanyak 1.184.429,60 Ton C, yang mengakibatkan berkurangnya Potensi ekonomi jasa lingkungan penyerapan karbon di TN Tesso Nilo mengalami penurunan sebanyak USD 5.922.148 sampai dengan USD 11.844.296 atau Rp 92.817.825.604 sampai dengan Rp 185.635.651.208 dengan asumsi nilai kurs Rupiah terhadap Dolar Amerika adalah Rp. 15,673,- per USD 1,-.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih dan penghargaan yang tak terhingga kepada segenap pihak yang telah berkontribusi dan membantu dalam menyelesaikan penelitian ini, antara lain : keluarga tercinta yang senantiasa mendoaka tiada henti, Bapak Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UT, Ibu Kepala Program Studi Magister Studi Lingkungan UT, Bapak Pembimbing I dan Pembimbing II, Seluruh Bapak dan Ibu Dosen serta Karyawan Pasca Sarjana MSL UT, Balai Taman Nasional Tesso Nilo dan Kementerian LHK.

DAFTAR PUSTAKA

Adimagistra. T, Ridho R.P, Wahjoerini. (2020) . Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (Sig) Dalam Identifikasi Daya Serap Emisi Karbon Di Kecamatan

- Tembalang, Kota Semarang. Pengembangan Rekayasa Dan Teknologi, Vol 16, No. 2, Desember 2020, Pp 177-182 P-Issn: 1410-9840 & E-Issn: 2580-8850
[Http://Journals.Usm.Ac.Id/Index.Php/Jprt/Index](http://Journals.Usm.Ac.Id/Index.Php/Jprt/Index)
- Andersson, K., & Gibson, C. C. (2010). Decentralized Governance and Environmental Change: Local Institutional Moderation of Deforestation in Bolivia. *Journal of Policy Analysis and Management*, 29(3), 451–478. <https://doi.org/10.1002/pam>
- Anshori, I. (2016). Nilai Ekonomi Kawasan Taman Hutan Raya Bunder sebagai Penyimpan Karbon dengan Pendekatan Karakteristik Kawasan. *Seminar Nasional Dan Gelar Produk*, 55–63.
- Ariyanti, D., (2018). Keanekaragaman Jenis Tumbuhan Dan Simpanan Karbon Pada Berbagai Tipe Penggunaan Lahan Di Kabupaten Pesisir Barat Provinsi Lampung. *Silvikultur Trop. - J. Trop. Silv. Sci. Technol.*9, 167–174.
- Balai Taman Nasional Tesso Nilo. (2015). *Rencana Pengelolaan Taman Nasional Tesso Nilo Tahun 2015-2024*. (Tidak dipublikasikan)
- Barus.S.P, Kuswanda. W. (2016). Nilai Ekonomi Jasa Lingkungan Hutan Mangrove Di Suaka Margasatwa Karang Gading, Sumatera Utara. *Jurnal penelitian Hutan dan konservasi alam*. Vol 13, No 1
- Betts, M. G., Wolf, C., Ripple, W. J., Phalan, B., Millers, K. A., Duarte, A., Butchart, S. H. M., & Levi, T. (2017). Global forest loss disproportionately erodes biodiversity in intact landscapes. *Nature*, 547(7664), 441–444.
- Biney, I. K. (2019). Exploring the power of the media in promoting lifelong learning and popular mobilisation drive against ‘Galamsey’ in Ghana. *Australian Journal of Adult Learning*, 59(3), 435–467.
- Bodzin, A. M. (2011). The implementation of a geospatial information technology (GIT)-supported land use change curriculum with urban middle school learners to promote spatial thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(3), 281–300. <https://doi.org/10.1002/tea.20409>
- Delahunty, T., Lewis-Gonzales, S., Phelps, J., Sawicki, B., Roberts, C., & Carpenter, P. (2012). Land Cover Change and Remote Sensing in the Classroom: An Exercise to Study Urban Growth. *Journal of Geography*, 111(3), 113–122. <https://doi.org/10.1080/00221341.2011.626996>
- Destri, Krey. K, Mardiyadi. Z. (2019). Stok Karbon Pada Hutan Rawa Berdasarkan Fungsi Kawasan Hutan Di Provinsi Papua Barat. *VOGELKOP: Jurnal Biologi* 2 (1): 2019 11-20 E-ISSN: 2684-9682212-222
- Dissanayake, S. T. M., & Jacobson, S. A. (2021). Money growing on trees: A classroom game about payments for ecosystem services and tropical deforestation. *Journal of Economic Education*, 52(3), 192–217. <https://doi.org/10.1080/00220485.2021.1925183>
- Djaenudin, Deden. (2014). *Bagaimana Menyikapi Ketidakpastian Pasar Karbon Untuk REDD+ di Indonesia?*, I. Bogor: Kementerian Kehutanan
- Durrwachter-Erno, K., Huerta-Montanez, G., Nguyen, V., Levy, A. A., Lawson, J. M., & Nguyen, V. T. (2021). Informing Policy on Built Environments to Safeguard Children in Environmental Justice Communities: Case Study of Five AAP Climate Advocates. *Journal of Applied Research on Children*, 12(1). Retrieved from <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=eric&AN=EJ1310503&site=ehost-live>
- Eshun, A.F. (2017). ‘Galamsey’: An enemy of Ghana’s arable lands and water bodies. Retrieved from: <https://www.ghanaweb.com/GhanaHomePage/features/Galamsey-An-enemy-of-Ghana-s-arable-lands-and-water-bodies-536226>.

- Fadhli, R., Sugianto, Syakur. (2021) Analisis Perubahan Penutupan Lahan dan Potensi Karbon di Taman Hutan Raya Pocut Meurah Intan, Aceh Indonesia. *Jurnal Ilmu Lingkungan Volume 19 Issue 2 (2021) : 450-458*
- Fadlilah U.K. (2021) . Dampak Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Besaran Stok Karbon di Kota Surabaya. *Jurnal Penataan Ruang Vol. 16, No. 1, (2021) ISSN: 2716-179X (1907-4972 Print)*
- Fargione JE, Bassett S, Boucher T, Bridgam SD, Conant RT, Cook-Paton SC, Ellis PW, Falcucci A, Fourqurean JW, Gopalakrishna T. 2018. Natural climate solutions for the United States. *Science Advance*. 4(11): 114. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aat1869>
- Garg, V., Ramchandra, B., Kumar, P., Prasad, S., Kumar, P., & Kumar, S. (2019). HydroResearch Human-induced land use land cover change and its impact on hydrology. *HydroResearch*, 1, 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.hydres.2019.06.001>
- Hammen, V. C., & Settele, J. (2011). Biodiversity and the Loss of Biodiversity Affecting Human Health. In *Encyclopedia of Environmental Health* (pp. 353–362). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52272-6.00655-3>
- Higher Education Funding Council for England (HEFCE), corp creator. (2010) *The higher education workforce framework 2010. Main report*
- Ichwan, M. (2021). Nilai Ekonomi Simpanan Karbon Kebun Raya Jompie Kota Parepare. *Gorontalo Journal of Forestry Research*, 4(2), 126–139.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). *Climate change 2007: Synthesis report*. Geneva, Switzerland.
- Isnan, W. (2018). Kebijakan Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca Dari Sektor Penggunaan Lahan Dan Perubahan Tata Guna Lahan Kehutanan (LULUCF). *Info Teknis EBONI*, 15(1), 29–40.
- Ivando, D., I.S. Banuwa, dan A. Bintoro, 2019. Karbon tersimpan pada berbagai tipe kerapatan tegakan di hutan rakyat Desa Sukoharjo I, Kecamatan Sukoharjo, Kabupaten Pringsewu. *Jurnal Belantara* 2(1): 53-61. DOI: 10.29303/jbl.v2i1.96
- Jin, H., Mehl, C. E., & Lan, D. H. (2015). Developing an analytical framework for argumentation on energy consumption issues. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(8), 1132–1162. <https://doi.org/10.1002/tea.21237>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim. Direktorat Inventarisasi GRK dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (2022). *Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca, Monitoring, Pelaporan, dan Verifikasi Nasional Tahun 2021, KLHK*
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). (2022). *Rencana Operasional Indonesia' FOLU Net Sink 2030*
- Kogo, B. K., Kumar, L., & Koech, R. (2019). Forest cover dynamics and underlying driving forces affecting ecosystem services in Western Kenya. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 14, 75–83.
- Kumar, P., Rai, A., & Chand, S. (2019). The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences Land use and land cover change detection using geospatial techniques in the Sikkim Himalaya , India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, (xxxx), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2019.02.001>
- Lasco RD, Frolencia BP, JM Roshetko, MRN Banaticla.(2004). *LULUCF Climate Change Mitigation Project in the Philippines : A Primer*. World Agroforestry Centre Southeast Asia Regional Research Programe
- Liang, S., S. Peng, and Y. Chen. (2019). Carbon cycles of forest ecosystem in a typical climate transition zone under future climate change: a case study of Shaanxi Province, China. *Forest Journal* 10(12): 1-17. DOI: 10.3390/f10121150

- Lindsay, A. (2017). Organic Carbon Analysis of Charcoal-Enriched Soils at Catoctin Mountain Park, MD. *Natural Sciences Education*, 46(1), 1–6. <https://doi.org/10.4195/nse2017.01.0101>
- Macalalag, A. Z., Johnson, J., & Lai, M. (2020). How do we do this: learning how to teach socioscientific issues. *Cultural Studies of Science Education*, 15(2), 389–413. <https://doi.org/10.1007/s11422-019-09944-9>
- Mardiana, G., Udiansyah, & Pitri, R. M. N. (2018). Potensi Simpanan dan Serapan Karbon di Atas permukaan tanah Pada Kawasan Hutan Desa Sungai Bakar Kecamatan Bajun. *Jurnal Sylva Scientiae*, 01(1), 56–64.
- McChesney, R., & McSweeney, K. (2015). Topographic Maps: Rediscovering an Accessible Data Source for Land Cover Change Research. *Journal of Geography*, 104(4), 161–178. <https://doi.org/10.1080/00221340508978632>
- Nahib, I. (2011). Pemetaan Valuasi Ekonomi Hutan Mangrove Berdasarkan GIS dan Metode Benefit Transfer : Studi Kasus di Hutan Mangrove di Wilayah ALKI II. *Globë Volume 13 No 1 Juni 2011 : 31 – 40*.
- Pan, Y., R. A. Birdsey, J. Fang, R. Houghton, P. E. Kauppi, W. A. Kurz, O. L. Phillips, A. Shvidenko, S. L. Lewis, J. G. Canadell, P. Ciais, R. B. Jackson, S. W. Pacala, A. D. McGuire, S. Piao, A. Rau tiainen, S. Sitch, and D. Hayes. 2011. “A Large and Persistent Carbon Sink in the World’s Forests.” *Science* 333: 988–993.
- Pandey, S., R. Shukla, R. Saket, and D. Verma. (2019). Enhancing carbon stocks accumulation through forest protection and regeneration, a review. *International Journal of Environment* 8(1): 16- 21.
- Pearson, T.R.H., Brown, S., Casarim, F.M., (2015). Carbon emissions from tropical forest degradation caused by logging. *Environ. Res. Lett.* 9. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/3/034017>
- Rahmat, M. (2010). Evaluasi manfaat dan biaya pengurangan emisi serta penyerapan karbondioksida pada lahan gambut di HTI. *Jurnal Bumi Lestari*, 10(2), 275–284.
- Rikardo, R., Purwoko, A., dan Latifah, S. 2014. Potensi dan Nilai Ekonomi Cadangan Karbon di Hutan Pendidikan dan Pelatihan Pondok Buluh. Universitas Sumatera Utara. Medan
- Rose, M. A. (2010). Envirotech: Enhancing environmental literacy and technology assessment skills. *Journal of Technology Education*, 22(1), 43–57. <https://doi.org/10.21061/jte.v22i1.a.3>
- Sadewo, M. N., & Buchori, I. (2018). Simulasi Perubahan Penggunaan Lahan Akibat Pembangunan Kawasan Industri Kendal (KIK) Berbasis Cellular Automata. *Majalah Geografi Indonesia*, 32(2), 142–154. <https://doi.org/10.22146/mgi.33755>
- Saloh, Y. Dan G. Clought. 2002. CIFOR. Forest Trend. Jakarta.
- Saputra, H., Hardiansyah, G., & Fahrizal. (2018). Pendugaan Stock Karbon Tersimpan pada Model Manajemen Hutan Meranti di Kawasan Sungai Peniti Besar Provinsi Kalimantan Barat. *Jurnal Hutan Lestari*, 6, 261–267.
- Schedlbauer, J. L., Nadolny, L., & Woolfrey, J. (2016). Practising Conservation Biology in a Virtual Rainforest World. *Journal of Biological Education*, 50(3), 320–328. <https://doi.org/10.1080/00219266.2015.1117510>
- Shafitri, L. D., Prasetyo, Y., & Haniah, H. (2018). Analisis Deforestasi Hutan di Provinsi RIAU dengan Metode Polarimetrik dalam Pengindraan Jauh. *Jurnal Geodesi Undip*, 7(1),
- Stone, S., Leon, C.M., Fredericks, P. 2010. Perubahan Iklim dan Peran Hutan. Conservation International. that deforestation amplifies flood risk and severity in the developing world“by C. J. A. Bradshaw, N.S. Sodi, K. S.-H. Peh and B.W. Brook. *Global Change Biology*, 15(1), 110–115. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01708.x>

- Thieme, A., Glennie, E., Oddo, P., McCartney, S., Ruid, M., & Anand, A. (2022). Application of Remote Sensing for Ex Ante Decision Support and Evaluating Impact. *American Journal of Evaluation*, 43(1), 26–45. <https://doi.org/10.1177/1098214020962579>
- Ullman R, Bilbao-Bastida V, Grimsditch G. 2012. Higher Education Funding Council for England. (2010). Access to what? Analysis of factors determining graduate. London: HEFCE Centre for Higher Education Research and Information.
- Van Dijk, A. I. J. M., van Noordwijk, M., Calder, I. R., Bruijnzeel, S. L. A., Schellekens, J. A. A. P., & Chappell, N. A. (2009). Forest-flood relation still tenuous - Comment on 'Global evidence that deforestation amplifies flood risk and severity in the developing world' by C. J. A. Bradshaw, N.S. Sodi, K. S.-H. Peh and B.W. Brook. *Global Change Biology*, 15(1), 110–115. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01708.x>
- Yildirim Tasti, O., & Akar, H. (2021). Promoting climate-friendly actions of high school students: A case from turkey. *Eurasian Journal of Educational Research*, 2021(92), 335–358. <https://doi.org/10.14689/ejer.2021.92.17>
- Yovanda, R., Juniah, R., & Yulianita, A. (2022). Study of Benefit Economic Value of Post Coal Mining Land as Carbon Absorber at PT Sungai Pangean Jaya Studi Nilai Ekonomi Manfaat Lahan Bekas tambang Batubara Sebagai Penyerap Karbon pada PT Sungai Pangean Jaya. *Journal of Mechanical, Electrical and Industrial Engineering*, 4(3), 297–304.