



Dinamika Perubahan Tutupan Lahan dan Emisi Karbon dari Deforestasi dan Degradasi Hutan di Kabupaten Kutai Timur Tahun 2019 - 2024

(Land Cover Change and Carbon Emissions from Deforestation and Forest Degradation in East Kutai Regency, Indonesia, 2019–2024)

Muhammad Rafii Nur Fauzan^{1*}, Ali Suhardiman¹, Ikhsan Fiqra Naufalianto¹, Achmad Syarifudin¹, Andi Nugroho¹, Oshlifin Rucmana Saud¹

¹ Fakultas Kehutanan dan Lingkungan Tropis, Universitas Mulawarman, Kampus Gunung Kelua Jl. Penajam, Kecamatan Samarinda Ulu, Kota Samarinda, Kalimantan Timur, 75123, Indonesia

Informasi Artikel:

Submission : 29 Oktober 2025
Revised : 26 November 2025
Accepted : 26 November 2025
Published : 24 Desember 2025

*Penulis Korespondensi:

Muhammad Rafii Nur Fauzan
Fakultas Kehutanan dan Lingkungan Tropis,
Universitas Mulawarman, Kampus Gunung
Kelua Jl. Penajam, Kecamatan Samarinda Ulu,
Kota Samarinda, Kalimantan Timur, 75123,
Indonesia
e-mail: mrafinurfauzan@fahatan.unmul.ac.id
Telp: +62 851-5681-4216

Makila 19 (2) 2025: 425-438

DOI:
<https://doi.org/10.30598/makila.v19i2.22634>



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the
Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License

Copyright ©2025 Author(s): Muhammad Rafii Nur Fauzan, Ali Suhardiman, Ikhsan Fiqra Naufalianto, Achmad Syarifudin, Andi Nugroho, Oshlifin Rucmana Saud

Journal homepage:
<https://ojs3.unpatti.ac.id/index.php/makila>
Journal e-mail: makilajournal@gmail.com

Research Article · [Open Access](#)

ABSTRACT

This study aims to analyze land cover changes and estimate carbon emissions resulting from deforestation and forest degradation in Kutai Timur Regency during the period of 2019–2024. The analysis was conducted using land cover vector data from the Ministry of Environment and Forestry, which was analyzed with the pairwise comparison method and Geographic Information System (GIS). Carbon emissions were calculated based on Tier 2 IPCC with emission factors for each land cover class. The results of the study show that deforestation is the main contributor to carbon emissions, with the highest increase in emissions during 2023–2024, reaching 9,702,628 tons CO_{2e}. The decrease in emissions during 2020–2022 aligns with the implementation of the moratorium policy, but an increasing trend in emissions was observed again in 2022–2024, indicating that pressure on forest land remains high. Natural regeneration of secondary forests occurred, but its contribution was not sufficient to offset the loss from deforestation. Spatial patterns show that the largest forest conversion took place in agricultural areas, mining, open land, and scrublands. These findings emphasize the importance of consistent jurisdiction-based forest management policies to achieve the FOLU Net Sink 2030 target and support climate change mitigation.

KEYWORDS: *deforestation, forest degradation, carbon emissions.*

INTISARI

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan tutupan lahan serta estimasi emisi karbon yang dihasilkan dari deforestasi dan degradasi hutan di Kabupaten Kutai Timur pada periode 2019–2024. Analisis dilakukan menggunakan data vektor tutupan lahan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, yang dianalisis dengan metode pairwise comparison dan sistem informasi geografis. Emisi karbon dihitung berdasarkan Tier 2 IPCC dengan faktor emisi per kelas tutupan lahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa deforestasi sebagai kontributor utama emisi karbon, dengan peningkatan tertinggi pada 2023-2024 mencapai 9.702.628 ton CO₂e. Penurunan pada 2020-2022 sejalan dengan implementasi kebijakan moratorium izin, namun tren peningkatan emisi kembali terlihat pada 2022-2024, yang mengindikasikan bahwa tekanan terhadap lahan hutan tetap tinggi. Regenerasi alami hutan sekunder terjadi, namun kontribusinya belum cukup mengimbangi deforestasi. Pola spasial menunjukkan konversi hutan terbesar terjadi di area pertanian, pertambangan, lahan terbuka dan semak belukar. Temuan ini menegaskan pentingnya kebijakan pengelolaan hutan berbasis yurisdiksi yang konsisten untuk mencapai target FOLU Net Sink 2030 dan mendukung mitigasi perubahan iklim..

KATA KUNCI: deforestasi, degradasi hutan, emisi karbon.

PENDAHULUAN

Deforestasi dan degradasi hutan tropis melepaskan karbon dalam jumlah besar ke atmosfer, baik dari biomassa maupun tanah, yang secara langsung mempercepat pemanasan global (Maxwell *et al.*, 2019). Setiap tahun, antara 6,4 hingga 9,6 juta hektar hutan tropis hilang, dengan estimasi rata-rata 6,4–8,8 juta hektar per tahun pada periode 2011–2015, Sekitar 90–99% deforestasi tropis terjadi di lanskap yang didorong oleh ekspansi pertanian (Pendrill *et al.*, 2022). Menurut data Global Forest Watch (2021 – 2024), Kalimantan Timur mengalami kehilangan 170.000 ha tutupan hutan. Proses ini tidak hanya mengurangi keanekaragaman hayati, tetapi juga menyebabkan penurunan biomassa dan stok karbon, sehingga lebih banyak karbon dilepaskan ke atmosfer (Weiskopf *et al.*, 2024).

Hutan berperan penting sebagai penyerap karbon (carbon sink) dari atmosfer melalui fotosintesis, dengan menyimpan karbon dalam biomassa di atas permukaan, biomassa bawah permukaan, dan tanah. Sekitar 45–65% karbon terestrial tersimpan di hutan, baik dalam biomassa maupun tanah (Reichstein & Carvalhais, 2019). Ketika hutan ditebang atau terdegradasi, karbon yang tersimpan terlepas ke atmosfer dan secara signifikan meningkatkan emisi gas rumah kaca global (Lapola *et al.*, 2023). Selain itu, hilangnya hutan tropis mengganggu siklus hidrologis dengan

penurunan evapotranspirasi dan perubahan pola hujan (Lapola *et al.*, 2023). Oleh karena itu, menjaga keberlanjutan hutan sangat penting dalam upaya mitigasi perubahan iklim.

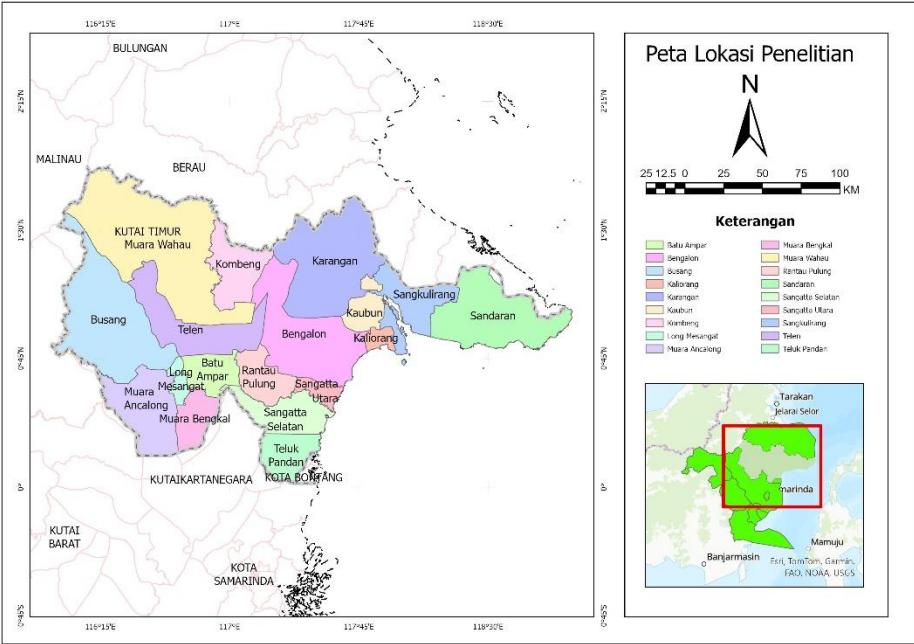
Sebagai bagian dari komitmen Indonesia untuk menurunkan emisi sebesar 29% (unconditional) dan 41% (conditional) pada 2030, sektor kehutanan diharapkan menyumbang hingga 60% dari total target penurunan emisi (Arifanti *et al.*, 2022). Komitmen ini diwujudkan melalui kebijakan dan program strategis, antara lain Forestry and Other Land Use (FOLU) Net Sink 2030 serta program Forest Carbon Partnership Facility – Carbon Fund (FCPF-CF) yang diimplementasikan di Kalimantan Timur. Program FCPF-CF di Kalimantan Timur merupakan pilot project REDD+ berbasis yuridiksi dengan skema pembayaran berbasis hasil. Program ini terintegrasi dengan Kaltim Green dan RPJMD, serta melibatkan multi-level governance dari provinsi hingga desa (Wiati *et al.*, 2022).

Kabupaten Kutai Timur merupakan salah satu wilayah yurisdiksi di Kalimantan Timur yang menjadi bagian dari area implementasi program FCPF. Wilayah ini memiliki karakteristik tutupan hutan yang luas, namun menghadapi tekanan tinggi akibat ekspansi perkebunan kelapa sawit dan pertambangan (Dennis & Colfer, 2006). Kondisi ini menjadikan Kutai Timur sebagai lokasi yang penting untuk pemantauan perubahan tutupan lahan dan estimasi emisi karbon. Namun, kajian mengenai dinamika tutupan lahan dan estimasi emisi karbon di wilayah ini masih terbatas, terutama untuk periode 2019–2024, yang beririsan dengan pelaksanaan FCPF. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan tutupan lahan serta emisi yang dihasilkan dari deforestasi dan degradasi hutan di Kabupaten Kutai Timur. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan lebih dalam mengenai kontribusi sektor kehutanan dalam penurunan emisi karbon dan memberikan rekomendasi untuk mendukung pencapaian

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur, yang secara geografis terletak pada koordinat 115°56'26" BT hingga 118°08'19" BT dan 1°17'1" LS hingga 1°52'39" LU Gambar 1. Kabupaten Kutai Timur berbatasan langsung di sebelah utara dengan Kabupaten Berau, di sebelah timur dengan Selat Makassar, di sebelah selatan dengan Kabupaten Kutai Kartanegara dan Kota Bontang, serta di sebelah barat dengan Kabupaten Kutai Kartanegara. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus hingga Oktober 2025, Data yang digunakan merupakan data sekunder penutupan lahan dari Kementerian Kehutanan untuk periode tahun 2019 – 2024.



Gambar 1. Peta Administrasi Kabupaten Kutai Timur.

Prosedur dan Analisis Data

Analisis perubahan tutupan lahan dan estimasi emisi karbon dilakukan menggunakan peta tutupan lahan berformat vektor dari Kementerian Kehutanan tahun 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 dan 2024. Proses pengolahan peta dilakukan dengan perangkat lunak sistem informasi geografis ArcGIS Pro 3.1.0 dengan tools union untuk menggabungkan keseluruhan peta. Setelah penggabungan, dilakukan pemotongan menggunakan batas Kabupaten Kutai Timur yang bersumber dari peta Rupa Bumi Indonesia menggunakan fitur clip. Data deforestasi tahunan dihitung menggunakan metode pairwise comparison, yang membandingkan kelas tutupan lahan antara dua tahun berturut-turut untuk mendeteksi perubahan. Perbandingan ini dilakukan dengan menggunakan pivot table untuk merangkum perubahan dari setiap kelas tutupan lahan. Dalam proses analisis, ditemukan sekitar 219 hektar area yang tidak dapat dievaluasi karena tidak tersedianya data tutupan lahan pada salah satu tahun pengamatan, oleh sebab itu area tersebut dikecualikan dari perhitungan. Kelas tutupan lahan ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kelas Tutupan Lahan (Kementerian LHK, 2024)

No	Kode	Toponimi	Keterangan
1	2001	Hp	Hutan Lahan Kering Primer
2	2002	Hs	Hutan Lahan Kering Sekunder
3	2004	Hmp	Hutan Mangrove Primer
4	2005	Hrp	Hutan Rawa Primer
5	20041	Hms	Hutan Mangrove Sekunder
6	20051	Hrs	Hutan Rawa Sekunder
7	2006	Ht	Hutan Tanaman
8	2007	B	Belukar
9	2010	Pk	Perkebunan
10	2012	Pm	Permukiman
11	2014	T	Tanah Terbuka
12	2500	Aw	Awan
13	3000	S	Savanna/ Padang Rumput
14	5001	A	Badan Air
15	20071	Br	Belukar Rawa
16	20091	Pt	Pertanian Lahan Kering

No	Kode	Toponimi	Keterangan
17	20092	Pc	Pertanian Lahan Kering Campur
18	20093	Sw	Sawah
19	20094	Tm	Tambak
20	20121	Bdr	Bandara/Pelabuhan
21	20122	Tr	Transmigrasi
22	20141	Pb	Pertambangan
23	50011	Rw	Rawa

Pada penelitian ini, deforestasi didefinisikan perubahan dari tutupan hutan menjadi non hutan seperti dari hutan menjadi perkebunan, permukiman, pertanian, tanah terbuka. Degradasi didefinisikan perubahan tutupan lahan dari semula hutan primer menjadi hutan sekunder seperti Hutan lahan kering primer menjadi hutan lahan kering sekunder (UNFCCC, 2022). Perhitungan emisi dilakukan dengan menghitung selisih perubahan tutupan lahan untuk deforestasi dan degradasi secara terpisah. Untuk degradasi, perhitungan dilakukan dengan mengukur selisih luas perubahan dari hutan primer menjadi hutan sekunder. Selisih luas antara hutan primer dan hutan sekunder kemudian dikalikan dengan faktor konversi ke ton C/ha dan ton CO₂e untuk mendapatkan kehilangan CO₂e dari degradasi hutan.

Perhitungan deforestasi, perhitungan dilakukan untuk perubahan dari hutan menjadi non-hutan (misalnya, menjadi perkebunan atau lahan terbuka), dengan menghitung kehilangan karbon berdasarkan selisih luas perubahan dari hutan menjadi kelas non-hutan. Selisih luas perubahan kemudian dikalikan dengan faktor konversi ke ton C/Ha dan ton CO₂e untuk mendapatkan kehilangan CO₂e dari deforestasi. Tabel faktor emisi ditampilkan pada **Error! Reference source not found.**

Tabel 2. Faktor emisi dari berbagai kelas tutupan lahan di Pulau Kalimantan (UNFCCC, 2022)

No	Kelas Tutupan	Faktor Emisi Ton Biomass/Ha	Faktor Emisi Ton C/Ha
1	Hutan Lahan Kering Primer	420,41	197,59
2	Hutan Lahan Kering Sekunder	287,55	135,15
3	Hutan Rawa Primer	347,81	163,47
4	Hutan Rawa Sekunder	263,17	123,69
5	Hutan Mangrove Primer	325,10	152,80
6	Hutan Mangrove Sekunder	173,66	81,62
7	Hutan Tanaman	100,4	47,19
8	Belukar	74,64	35,08
9	Perkebunan	63,74	29,96
10	Permukiman	2,8	1,32
11	Tanah Terbuka	2,97	1,40
12	Badan Air	0	0
13	Belukar Rawa	23,91	11,24
14	Pertanian Lahan Kering	16,89	7,94
15	Pertanian Lahan Kering Campur	77,56	36,45
16	Sawah	12,36	5,81
17	Tambak	0	0
18	Bandara/ Pelabuhan	0	0
19	Transmigrasi	16,89	7,94
20	Pertambangan	0	0
21	Rawa	0	0

Hasil Perhitungan faktor emisi dari deforestasi dan degradasi hutan dapat dihitung dengan menggunakan rumus (UNFCCC, 2022):

$$GE_{ij} = A_{ij} \times EF_j \times \left(\frac{44}{12}\right) \quad (1) \quad \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

- GE_{ij} = Emisi CO₂ kotor deforestasi area-i dari perubahan kelas tutupan hutan – j ke tutupan nonhutan – k (dalam tCO₂e)
- A_{ij} = Area deforestasi-I dari perubahan kelas tutupan hutan-j ke tutupan nonhutan-k (dalam ha).
- EF_j = Faktor emisi yang dihitung dari selisih stok karbon kelas hutan-j dengan stok karbon kelas nonhutan-k (dalam tC ha-1).
- (44/12) = faktor konversi dari tC ke tCO₂e

HASIL DAN PEMBAHASAN

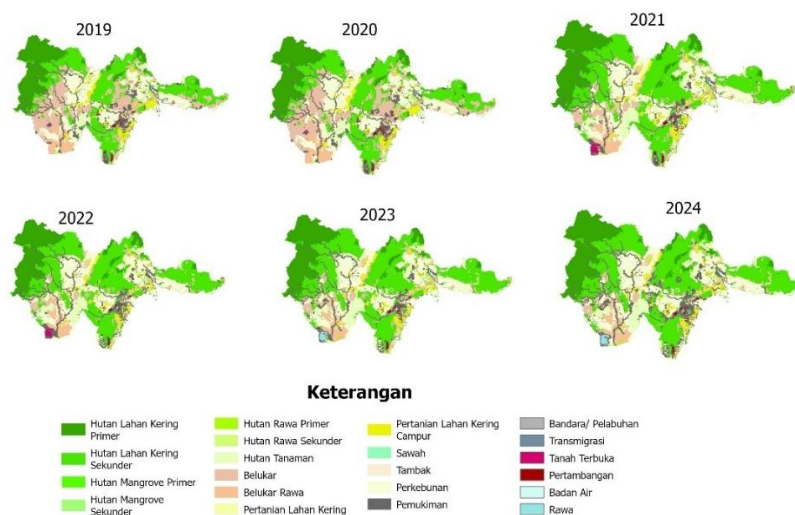
Dinamika Perubahan Tutupan Lahan di Kabupaten Kutai Timur

Analisis tutupan lahan di Kabupaten Kutai Timur dari tahun 2019 hingga 2024 menunjukkan perubahan yang signifikan pada beberapa kategori tutupan lahan. Dalam analisis ini, terdapat sekitar 219 hektar area yang tidak dapat dianalisis karena data tutupan lahannya tidak tersedia pada salah satu tahun pengamatan, sehingga area tersebut tidak diikutsertakan dalam perhitungan. Perubahan ini mencerminkan dinamika tekanan antropogenik yang kuat akibat aktivitas perkebunan, pertambangan, dan pembangunan hutan tanaman, meskipun demikian, pada periode yang sama juga teridentifikasi regenerasi alami pada hutan lahan kering primer dan hutan lahan kering sekunder sebagaimana ditampilkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Luas tutupan lahan Kabupaten Kutai Timur

Tutupan Lahan	Luasan (Ha)					
	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Hutan Lahan Kering Primer	503.581	518.777	518.133	519.045	518.918	518.918
Hutan Lahan Kering Sekunder	892.569	1.215.973	1.232.831	1.236.617	1.220.664	1.200.852
Hutan Mangrove Primer	13.734	11.337	11.377	11.362	11.479	11.479
Hutan Rawa Primer	0	605	605	2.516	2.518	2.518
Hutan Tanaman	95.000	155.447	167.577	170.306	170.675	178.707
Belukar	685.118	306.910	279.254	262.103	257.721	257.399
Perkebunan	570.882	560.564	574.104	576.167	579.733	579.424
Permukiman	12.422	18.139	19.119	19.118	19.424	19.424
Tanah Terbuka	32.224	35.150	31.050	18.581	26.618	38.632
Badan Air	13.034	6.621	13.050	13.118	13.130	13.130
Hutan Mangrove Sekunder	10.960	14.860	14.819	17.406	17.352	17.346
Hutan Rawa Sekunder	7.152	8.052	8.325	9.444	9.444	9.434
Belukar Rawa	109.666	95.008	95.870	87.990	87.454	87.454
Pertanian Lahan Kering	30.770	27.521	15.264	14.328	14.452	14.452
Pertanian Lahan Kering Campur	127.233	126.542	130.578	131.085	133.524	133.538
Sawah	503	1.882	2.360	2.639	2.601	2.601
Tambak	3.887	4.309	4.523	4.392	4.554	4.554
Bandara/ Pelabuhan	34	66	58	58	58	58
Transmigrasi	1.019	1.592	1.592	1.592	1.592	1.592
Pertambangan	43.634	39.270	34.692	37.497	43.583	43.983
Rawa	1.873	7.205	647	20.464	20.464	20.464

Pola perubahan yang disajikan pada **Tabel 3**. Memperlihatkan adanya dinamika tutupan lahan yang kompleks di Kabupaten Kutai Timur. Untuk memperjelas sebaran dan arah perubahan secara visual, **Gambar 2**. Menampilkan dinamika tutupan lahan dari periode 2019 hingga 2024. Hasil visualisasi ini menunjukkan perubahan pada beberapa kategori tutupan lahan, khususnya perubahan dari hutan menjadi hutan tanaman, tanah terbuka dan area pertambangan.



Gambar 1. Dinamika perubahan tutupan lahan enam tahun terakhir di Kabupaten Kutai Timur

Pada tahun 2019, luas hutan lahan kering primer tercatat sebesar 503.581 hektar dan mengalami sedikit peningkatan hingga mencapai 518.918 hektar pada tahun 2024. Peningkatan ini diikuti oleh tren serupa pada hutan lahan kering sekunder, yang meningkat dari 892.569 hektar pada 2019 menjadi 1.236.617 hektar pada 2022, sebelum kembali menurun menjadi 1.200.852 hektar pada 2024. Kenaikan luas hutan sekunder tersebut kemungkinan disebabkan oleh proses revegetasi alami di area bekas tebangan, sebagaimana dijelaskan oleh (Broich *et al.*, 2011) bahwa hutan sekunder di Kalimantan umumnya terbentuk melalui regenerasi alami pasca penebangan selektif, terutama pada kawasan yang sebelumnya digunakan untuk kegiatan penebangan kayu (*logging*).

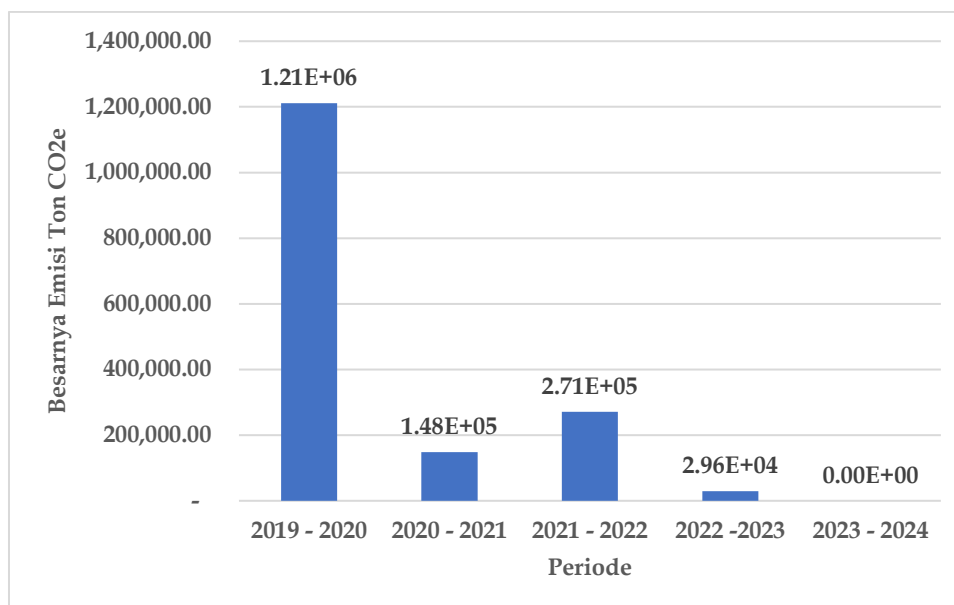
Proses ini berkontribusi terhadap peningkatan tutupan hutan sekunder dalam jangka pendek. Namun, penurunan luas hutan sekunder pada tahun 2024 mengindikasikan terjadinya konversi sebagian area untuk keperluan produksi kayu dan pengembangan hutan tanaman industri (HTI). Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian (Ferraz *et al.*, 2018) Hutan sekunder yang muncul akibat regenerasi alami seringkali hanya bertahan dalam waktu singkat sebelum dikonversi untuk hutan tanaman atau perkebunan. Sementara itu, tanah terbuka mengalami peningkatan dari 32.224 hektar pada tahun 2019 menjadi 38.632 hektar pada tahun 2024. Peningkatan ini mengindikasikan adanya pembukaan lahan baru untuk penyiapan areal produksi hutan tanaman industri (HTI), sebagaimana terlihat pada interpretasi citra satelit resolusi menengah. Hal ini sejalan dengan (Sari *et al.*, 2022) yang melakukan studi di Kalimantan Timur menunjukkan bahwa konversi hutan dan lahan terbuka untuk HTI terus meningkat, sejalan dengan permintaan kayu dan komoditas global.

Tutupan lahan perkebunan tahun 2019 sebesar 570.882 hektar dan menurun tahun 2020 sebesar 560.564 hektar dan meningkat menjadi 574.104 hektar pada 2021 hal ini setelah dilakukan pengecekan dengan citra satelit resolusi tinggi tahun 2020 areal yang terjadi selisih kemungkinan akibat dari penggunaan citra satelit resolusi sedang yang mengakibatkan kesulitan dalam menafsirkan jenis tutupan lahan. Hal ini sejalan oleh penelitian (Boyle *et al.*, 2014) penggunaan citra satelit resolusi tinggi dapat mempermudah mengidentifikasi blok perkebunan yang sering tidak terdeteksi pada citra resolusi sedang.

Secara tren perubahan tutupan lahan di Kabupaten Kutai Timur yang mengalami peningkatan dari belukar menjadi hutan lahan kering sekunder pada kecamatan Busang, Telen, Muara Wahau dan Bengalon. Penurunan dari hutan lahan kering sekunder dengan kebanyakan menjadi belukar, tanah terbuka dan pertanian lahan kering campuran yang didominasi di Kecamatan Rantau Pulung, Sangkulirang dan Kongbeng. Secara keseluruhan, perubahan tutupan lahan di Kabupaten Kutai Timur selama periode 2019–2024 menunjukkan adanya dinamika pada hutan sekunder yang mencerminkan proses regenerasi alami di satu sisi dan degradasi baru di sisi lain. Selain itu, peningkatan luas hutan tanaman dan lahan terbuka menjadi indikator meningkatnya intensifikasi aktivitas industri berbasis sumber daya alam.

Emisi dari Degradasi Hutan

Hasil perhitungan emisi karbon akibat degradasi hutan di Kabupaten Kutai Timur diperoleh melalui proses overlay tutupan lahan tahun 2019–2024. Berdasarkan hasil perhitungan, terdapat perubahan emisi yang cukup tajam selama periode pengamatan, sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 3**. Nilai emisi tertinggi pada periode 2019 – 2020 yaitu sebesar 1.211.650 ton CO₂e kemudian menurun tajam pada 2020 – 2021 menjadi 148.259 ton CO₂e dan naik menjadi 270.883 ton CO₂e pada 2021 – 2022. Pada periode berikutnya, emisi dari degradasi hutan menurun menjadi 29.611 ton CO₂e pada 2022-2023 dan nol pada 2023-2024, hal ini menunjukkan berkurangnya tekanan pada hutan primer, yang dimungkinkan akibat dari menurunnya aktivitas penebangan dan pembukaan pada areal tersebut.



Gambar 2. Emisi karbon dioksida dari degradasi hutan

Peningkatan emisi yang tinggi pada periode 2019-2020 kemungkinan besar disebabkan oleh penebangan selektif dan pembukaan jaringan jalan baru pada kawasan hutan produksi. Hal ini serupa dengan penelitian (Alamgir *et al.*, 2019) bahwa pembangunan infrastruktur seperti jalan dapat secara signifikan meningkatkan aksesibilitas menuju kawasan hutan primer, sehingga mempercepat proses fragmentasi hutan dan menurunkan konektivitas lanskap. Akibatnya, kawasan tersebut menjadi lebih rentan terhadap aktivitas penebangan, baik legal maupun ilegal, yang pada akhirnya mempercepat laju degradasi hutan dan peningkatan emisi karbon.

Penurunan tren emisi dari degradasi pada periode 2020 – 2023 konsisten dengan periode implementasi FCPF-CF dan kebijakan moratorium, meskipun hubungan kausal memerlukan analisis lebih lanjut. Program ini berfokus pada reduksi emisi dari deforestasi dan degradasi hutan (REDD+) melalui pendekatan yuridiksi (*Jurisdictional approach*) (Ekawati *et al.*, 2020). Lebih lanjut (Riggs *et al.*, 2018) dalam penelitiannya mengemukakan bahwa kolaborasi multi-level governance memungkinkan pengawasan tapak yang lebih efektif dan responsif terhadap kondisi lokal, serta memperkuat upaya restorasi melalui sinergi kebijakan dan sumber daya antar tingkat pemerintahan. Keterlibatan masyarakat lokal dan pemangku kepentingan lain juga menjadi kunci dalam pengelolaan dan pemulihan hutan (Juliarti *et al.*, 2021).

Peningkatan emisi dari tahun 2021 – 2022 diakibatkan oleh aktivitas degradasi yang intensif yang kemungkinan besar berasal dari aktifitas penebangan hutan dan pembukaan jaringan jalan dalam kawasan hutan. Menurut (Bourgoin *et al.*, 2024) Degradasi hutan tropis sering terjadi akibat penebangan selektif, kebakaran dan fragmentasi habitat. Aktivitas-aktivitas ini menyebabkan penurunan ketinggian dan tutupan kanopi hutan hingga 15-50%, serta penurunan biomassa secara signifikan, yang berdampak langsung pada penurunan stok karbon yang tersimpan dalam vegetasi dan tanah.

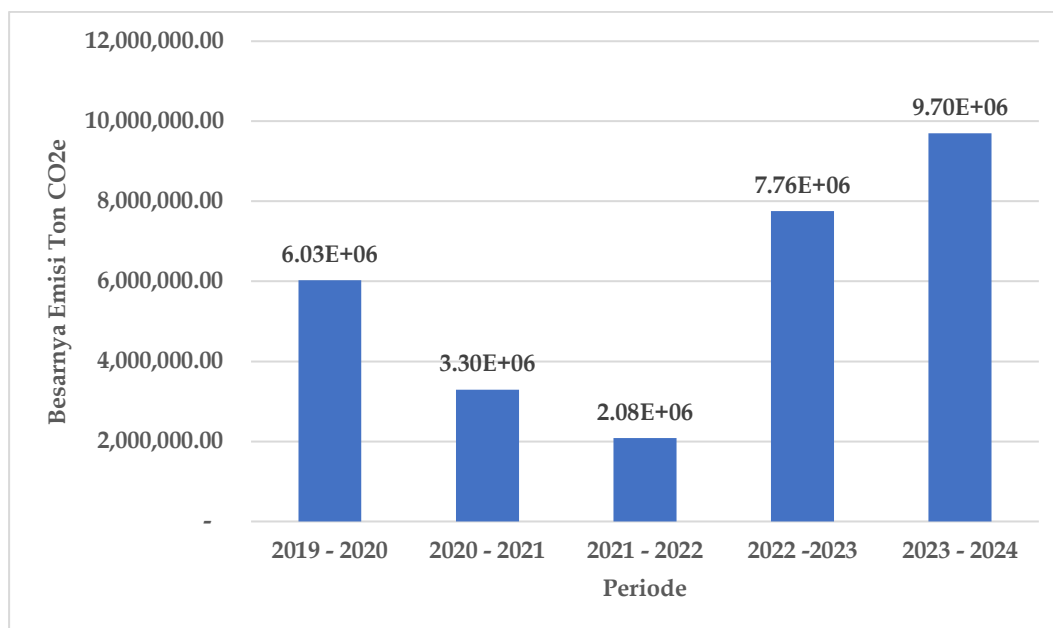
Penurunan emisi pada periode 2022–2023, yang tercatat sebesar 29.612 ton CO₂e, menunjukkan bahwa aktivitas degradasi mulai berkurang, yang mengindikasikan penurunan tekanan pada kawasan hutan primer. Fenomena ini sejalan dengan penelitian (Margono *et al.*, 2014) bahwa penurunan aktivitas pembalakan di Kalimantan Timur umumnya terjadi setelah diberlakukannya moratorium izin baru di kawasan hutan alam dan meningkatnya pengawasan oleh pemerintah daerah dan masyarakat. Hal ini juga mencerminkan dampak positif dari kebijakan pengelolaan hutan yang lebih ketat dalam mengurangi deforestasi dan degradasi hutan.

Tren penurunan emisi akibat degradasi hutan menjadi sinyal positif bagi kabupaten Kutai Timur dalam mendukung target FOLU Net Sink 2030. Namun, untuk memastikan area yang terdegradasi benar-benar optimal dalam menyerap karbon dan tidak terdegradasi lagi diperlukan monitoring berkala. Monitoring berbasis remote sensing terbukti sangat efektif untuk memantau perubahan tutupan lahan, degradasi dan pemulihan secara real time dan akurat (Mitchell *et al.*, 2017). Teknologi ini memungkinkan pemantauan yang lebih efisien dan komprehensif.

Rata-rata emisi dari degradasi hutan di Kabupaten Kutai Timur selama periode 2019–2024 mencapai 332.081 ton CO₂e per tahun. Nilai rata-rata tersebut menunjukkan bahwa meskipun tekanan terhadap hutan primer cenderung menurun, aktivitas penebangan selektif dan fragmentasi hutan sekunder masih menjadi salah satu faktor penyebab pelepasan karbon (Brinck *et al.*, 2017).

Emisi dari Deforestasi Hutan

Emisi dari deforestasi di Kabupaten Kutai Timur menunjukkan dinamika yang signifikan selama periode 2019 – 2024 (Gambar 4). Pada periode 2019–2020, emisi deforestasi tercatat mencapai 6.031.607 ton CO₂e, yang kemudian menurun tajam pada periode 2020–2021 menjadi 3.295.408 ton CO₂e dan lebih lanjut menjadi 2.083.097 ton CO₂e pada 2021–2022. Namun, pada periode 2022–2023, emisi deforestasi mengalami lonjakan signifikan menjadi 7.757.281 ton CO₂e, dan puncaknya mencapai 9.702.628 ton CO₂e pada 2023–2024.



Gambar 3. Emisi karbon dioksida dari deforestasi hutan

Periode 2019-2020, emisi dari deforestasi mencapai 6.031.607 ton CO₂e, peningkatan ini diakibatkan oleh adanya konversi dari hutan menjadi belukar, tanah terbuka dan pertanian lahan kering campur. Hal ini sejalan dengan penelitian (Pendrill *et al.*, 2019) yang menyatakan konversi hutan menjadi pertanian lahan kering campur, belukar dan lahan terbuka merupakan faktor utama penyumbang emisi karbon di wilayah tropis, termasuk Indonesia,

Penurunan deforestasi yang terjadi pada periode 2020 – 2021 dan 2021 – 2022 sejalan dengan implementasi moratorium izin baru dan upaya pengelolaan lahan yang lebih ketat (Chen *et al.*, 2019). Meskipun demikian, deforestasi tetap terjadi, terutama konversi dari hutan lahan kering sekunder menjadi semak belukar, pertambangan dan lahan terbuka yang berpotensi dialokasikan menjadi hutan tanaman. Pola ini menunjukkan bahwa kebijakan pengendalian izin berkontribusi menekan angka kehilangan hutan alami, namun dinamika konversi lahan di kawasan produksi dan wilayah dengan tekanan pemanfaatan sumberdaya yang tinggi masih berlangsung.

Pada periode 2022 – 2023 mengalami peningkatan yang signifikan menjadi 7.757.281 ton CO₂e. Kenaikan ini menunjukkan adanya peningkatan tekanan terhadap hutan sekunder yang setelah dua tahun berturut-turut mengalami tren penurunan emisi. Peningkatan ini didominasi konversi ke lahan terbuka yang dimungkinkan berubah menjadi hutan tanaman. Peningkatan ini berkaitan dengan pemulihan ekonomi pasca pandemi covid 19 yang meningkatkan tekanan pada sumber daya hutan, terutama pembukaan lahan untuk kebutuhan industri (Golar *et al.*, 2020).

Rata-rata emisi dari deforestasi selama periode 2019 – 2024 yaitu mencapai 5.774.004 ton CO₂e yang didominasi oleh konversi hutan baik primer maupun sekunder menjadi pertanian lahan kering campur semak, hutan tanaman, pertambangan dan lahan terbuka. Pola ini menunjukkan deforestasi masih menyumbang terbesar terhadap emisi karbon sektor kehutanan di Kabupaten Kutai Timur, sebagaimana dijelaskan oleh (Kiswanto *et al.*, 2021) yang menganalisis gas rumah kaca

di Kalimantan Timur dimana deforestasi menyumbang 80% dan degradasi hutan menyumbang 20% dari total emisi.

KESIMPULAN

Penelitian ini menganalisis perubahan tutupan lahan dan estimasi emisi karbon dari deforestasi dan degradasi hutan di Kabupaten Kutai Timur pada periode 2019–2024. Emisi rata-rata deforestasi selama periode tersebut mencapai 5.774.004 ton CO₂e per tahun, dengan puncaknya pada 2023–2024 sebesar 9.702.628 ton CO₂e. Sementara itu, emisi rata-rata dari degradasi hutan mencapai 332.081 ton CO₂e per tahun, dengan penurunan signifikan pada 2023–2024 yang tercatat nol. Meskipun ada regenerasi hutan sekunder, konversi lahan tetap tinggi, terutama untuk hutan tanaman industri. Temuan ini menegaskan pentingnya kebijakan pengelolaan hutan yang ketat dan pendekatan berbasis yurisdiksi untuk mengurangi emisi karbon dan mendukung pencapaian target FOLU Net Sink 2030.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Kementerian Kehutanan atas penyediaan data tutupan lahan tahun 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 dan 2024 yang digunakan dalam analisis penelitian ini. penghargaan juga disampaikan kepada Badan Informasi Geospasial atas penyediaan data batas administrasi Kabupaten Kutai Timur yang menjadi acuan dalam proses pemetaan dan analisis spasial.

DAFTAR PUSTAKA

- Alamgir, M., Campbell, M. J., Sloan, S., Suhardiman, A., Supriatna, J., & Laurance, W. F. (2019). High-risk infrastructure projects pose imminent threats to forests in Indonesian Borneo. *Scientific Reports*, 9(1), 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36594-8>
- Arifanti, V. B., Kauffman, J. B., Subarno, J. B., Ilman, M., Tosiani, A., & Novita, N. (2022). Contributions of mangrove conservation and restoration to climate change mitigation in Indonesia. *Global Change Biology*, 28(15), 4523-4538. <https://doi.org/10.1111/gcb.16216>
- Ascenzi, I., Hilbers, J. P., van Katwijk, M. M., Huijbregts, M. A. J., & Hanssen, S. V. (2025). Increased but not pristine soil organic carbon stocks in restored ecosystems. *Nature Communications*, 16(1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-55980-1>
- Bourgoin, C., Ceccherini, G., Girardello, M., Vancutsem, C., Avitabile, V., Beck, P. S. A., Beuchle, R., Blanc, L., Duveiller, G., Migliavacca, M., Vieilledent, G., Cescatti, A., & Achard, F. (2024). Human degradation of tropical moist forests is greater than previously estimated. *Nature*, 631(8021), 570-576. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07629-0>
- Boyle, S. A., Kennedy, C. M., Torres, J., Colman, K., Pérez-Estigarribia, P. E., & De La Sancha, N. U. (2014). High-resolution satellite imagery is an important yet underutilized resource in conservation biology. *PLoS ONE*, 9(1), 1-11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0086908>

- Brinck, K., Fischer, R., Groeneveld, J., Lehmann, S., Dantas De Paula, M., Pütz, S., Sexton, J. O., Song, D., & Huth, A. (2017). High resolution analysis of tropical forest fragmentation and its impact on the global carbon cycle. *Nature Communications*, 8. <https://doi.org/10.1038/ncomms14855>
- Broich, M., Hansen, M., Stolle, F., Potapov, P., Margono, B. A., & Adusei, B. (2011). Remotely sensed forest cover loss shows high spatial and temporal variation across Sumatera and Kalimantan, Indonesia 2000-2008. *Environmental Research Letters*, 6(1). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/6/1/014010>
- Chen, B., Kennedy, C. M., & Xu, B. (2019). Effective moratoria on land acquisitions reduce tropical deforestation: Evidence from Indonesia. *Environmental Research Letters*, 14(4). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab051e>
- Dennis, R. A., & Colfer, C. P. (2006). Impacts of land use and fire on the loss and degradation of lowland forest in 1983-2000 in East Kutai District, East Kalimantan, Indonesia. *Singapore Journal of Tropical Geography*, 27(1), 30-48. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9493.2006.00238.x>
- Ekawati, S., Wayan, I., Dharmawan, S., Wardoyo, W., Rusolono, T., Alviya, I., Sari, G., Salminah, M., & Anwar, S. (2020). Membumikan Program REDD+ di Kalimantan Timur
- Ferraz, A., Saatchi, S., Xu, L., Hagen, S., Chave, J., Yu, Y., Meyer, V., Garcia, M., Silva, C., Roswintarti, O., Samboko, A., Sist, P., Walker, S., Pearson, T. R. H., Wijaya, A., Sullivan, F. B., Rutishauser, E., Hoekman, D., & Ganguly, S. (2018). Carbon storage potential in degraded forests of Kalimantan, Indonesia. *Environmental Research Letters*, 13(9), 95001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aad782>
- Golar, G., Malik, A., Muis, H., Herman, A., Nurudin, N., & Lukman, L. (2020). The social-economic impact of COVID-19 pandemic: implications for potential forest degradation. *Heliyon*, 6(10), e05354. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05354>
- Juliarti, A., Wijayanto, N., Mansur, I., & Trikoesoemaningtyas, T. (2021). Collaborative Governance Effort to Manage Forest in Kalimantan Island: Literature Review. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika (Journal of Tropical Forest Management)*, 27(1), 15-23. <https://doi.org/10.7226/jtfm.27.1.15>
- Kementerian LHK. (2024). Keputusan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No 398 Tahun 2024 tentang Standar Data Geospasial dan Informasi Geospasial Tematik Lingkup Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. https://jdih.menlhk.go.id/kiosk/files/SK_MENLHK_398_2024.pdf
- Kiswanto, Setiawati, M., & Tsuyuki, S. (2021). Impact of Local REDD+ Intervention on Greenhouse Gas Emissions in East Kalimantan Province, Indonesia. *Climate Impacts on Sustainable Natural Resource Management*. <https://doi.org/10.1002/9781119793403.ch1>
- Lapola, M. D., Pinho, P., Barlow, J., Aragão, C. L. E. O., Berenguer, E., Carmenta, R., Liddy, M. H., Seixas, H., Silva, J. C. V., Silva-Junior, ... S, W. (2023). The drivers and impacts of Amazon forest degradation. *Science*, 379(6630). <https://doi.org/10.1126/science.abp8622>
- Margono, B. A., Potapov, P. V., Turubanova, S., Stolle, F., & Hansen, M. C. (2014). Primary forest cover loss in indonesia over 2000-2012. *Nature Climate Change*, 4(8), 730-735. <https://doi.org/10.1038/nclimate2277>
- Maxwell, S. L., Evans, T., Watson, J. E. M., Morel, A., Grantham, H., Duncan, A., Harris, N., Potapov, P., Runting, R. K., Venter, O., Wang, S., & Malhi, Y. (2019). Degradation and forgone removals increase the carbon impact of intact forest loss by 626%. *Science Advances*, 5(10), 1-10. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax2546>
- Mitchell, A. L., Rosenqvist, A., & Mora, B. (2017). Current remote sensing approaches to monitoring forest degradation in support of countries measurement, reporting and verification (MRV) systems for REDD+. *Carbon Balance and Management*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s13021-017-0078-9>

- Pendrill, F., Gardner, T. A., Meyfroidt, P., Persson, U. M., Adams, J., Azevedo, T., Lima, M. G. B., Baumann, M., Curtis, P. G., De Sy, V., Garrett, R., Godar, J., Goldman, E. D., Hansen, M. C., Heilmayr, R., Herold, M., Kuemmerle, T., Lathuillière, M. J., Ribeiro, V., ... West, C. (2022). Disentangling the numbers behind agriculture-driven tropical deforestation. *Science*, 377(6611). <https://doi.org/10.1126/science.abm9267>
- Pendrill, F., Persson, U. M., Godar, J., Kastner, T., Moran, D., Schmidt, S., & Wood, R. (2019). Agricultural and forestry trade drives large share of tropical deforestation emissions. *Global Environmental Change*, 56(December 2018), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.03.002>
- Reichstein, M., & Carvalhais, N. (2019). Aspects of Forest Biomass in the Earth System: Its Role and Major Unknowns. *Surveys in Geophysics*, 40(4), 693-707. <https://doi.org/10.1007/s10712-019-09551-x>
- Riggs, R. A., Langston, J. D., Margules, C., Boedhihartono, A. K., Lim, H. S., Sari, D. A., Sururi, Y., & Sayer, J. (2018). Governance challenges in an eastern Indonesian forest landscape. *Sustainability (Switzerland)*, 10(1), 1-18. <https://doi.org/10.3390/su10010169>
- Sari, I. L., Weston, C. J., Newnham, G. J., & Volkova, L. (2022). Using Bayesian multitemporal classification to monitor tropical forest cover changes in Kalimantan, Indonesia. *International Journal of Digital Earth*, 15(1), 2061-2077. <https://doi.org/10.1080/17538947.2022.2146219>
- UNFCCC. (2022). Submission by Indonesia National Forest Reference Level For Deforestation , Forest Editor in Chief. Unfccc.
- Weiskopf, S. R., Isbell, F., Arce-Plata, M. I., Di Marco, M., Harfoot, M., Johnson, J., Lerman, S. B., Miller, B. W., Morelli, T. L., Mori, A. S., Weng, E., & Ferrier, S. (2024). Biodiversity loss reduces global terrestrial carbon storage. *Nature Communications*, 15(1), 4-6. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-47872-7>
- Wiati, C. B., Dharmawan, I. W. S., Sakuntaladewi, N., Ekawati, S., Wahyuni, T., Maharani, R., Hadiyan, Y., Naibaho, Y., Satria, W. I., Ngatiman, N., Abdurachman, A., Karmilasanti, K., & Laksmi, A. N. (2022). Challenges to and Strategies for the Climate Village Program Plus : A Lesson Learned from Indonesia <https://doi.org/10.3390/su14095530>