



Perubahan Tutupan Lahan dan Implikasinya pada Emisi Carbon di Keerom, Papua: Suatu Analisis Spasial-Temporal

Land Cover Change and Its Implications for Carbon Emissions in Keerom, Papua: A Spatio-Temporal Analysis

Ester Mumu¹, Zulfikar Mardiyadi², Francine Hematang^{3,*}

¹Fakultas Kehutanan, Universitas Papua

^{2,3} Manajemen dan Perencanaan Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Papua
Jl. Gunung Salju Amban, Kabupaten Manokwari, Indonesia, 98315

Dikirim : 2 Maret 2026; Disetujui : 1 Juni 2026; Diterbitkan : 13 Agustus 2026

DOI: [10.47039/ish.8.2026.1-17](https://doi.org/10.47039/ish.8.2026.1-17)

Intisari

Penelitian ini menganalisis dinamika perubahan tutupan lahan, deforestasi, degradasi hutan, dan emisi CO₂ di Kabupaten Keerom selama periode 1990–2024. Penelitian menggunakan data sekunder berupa peta tutupan lahan yang dianalisis melalui kodifikasi, *overlay* spasial, dan deteksi perubahan tutupan lahan menggunakan QGIS 4.0.3, sedangkan estimasi emisi CO₂ dihitung menggunakan *Microsoft Excel*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah klasifikasi tutupan lahan meningkat dari 14 kelas pada tahun 1990, 2000, dan 2011 menjadi 17 kelas pada tahun 2020 dan 2024. Selama periode penelitian, luas hutan lahan kering primer, hutan rawa primer, dan tubuh air mengalami penurunan, sedangkan hutan lahan kering sekunder, pertanian lahan kering campur, dan perkebunan meningkat. Total deforestasi mencapai 40.701 ha (29,45%) dengan rata-rata 1.197 ha/tahun, sedangkan degradasi hutan mencapai 97.525 ha (70,55%) dengan rata-rata 2.868 ha/tahun. Periode dengan tingkat deforestasi dan degradasi tertinggi terjadi pada 2011–2020. Deforestasi menghasilkan emisi sebesar 27.911.880 ton CO₂ dengan rata-rata 820.938 ton CO₂/tahun, sedangkan degradasi hutan menghasilkan 19.729.278 ton CO₂ dengan rata-rata 580.273 ton CO₂/tahun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa deforestasi merupakan sumber emisi CO₂ yang lebih besar dibandingkan dengan degradasi hutan, sehingga pengendalian deforestasi dan pengelolaan hutan secara berkelanjutan menjadi strategi penting dalam mendukung mitigasi perubahan iklim dan konservasi hutan di Kabupaten Keerom.

Kata kunci: Deforestasi, degradasi, emisi karbon, Keerom, tutupan lahan.

Abstract

This study analyzed land cover dynamics, deforestation, forest degradation, and associated CO₂ emissions in Keerom Regency, Papua, Indonesia, during the period 1990–2024. Secondary land cover datasets were analyzed using land cover classification, spatial overlay, and change detection techniques in QGIS 4.0.3, while CO₂ emissions were estimated using Microsoft Excel. The results showed that land cover classifications increased from 14 classes in 1990, 2000, and 2011 to 17 classes in 2020 and 2024. Over the study period, the extent of primary dryland forest, primary swamp forest, and water bodies declined, whereas secondary dryland forest, mixed dryland agriculture, and plantation areas expanded. Total deforestation reached 40,701 ha (29.45%), averaging 1,197 ha year⁻¹, while forest degradation affected 97,525 ha (70.55%), averaging 2,868 ha year⁻¹. The highest rates of both deforestation and forest degradation occurred during 2011–2020. Deforestation generated an estimated 27,911,880 t CO₂, with an annual average of 820,938 t CO₂, whereas forest degradation produced 19,729,278 t CO₂, averaging 580,273

* Korespondensi Penulis

Tlp : +6285341976103

Email : f.hematang@unipa.ac.id



© 2026 Ester Mumu, Zulfikar Mardiyadi, Francine Hematang.
Ciptaan disebarluaskan di bawah Lisensi Creative Commons
Atribusi NonKomersial-Berbagi Serupa 4.0 Internasional.

t CO₂ per year⁻¹. These findings demonstrate that deforestation is a greater source of CO₂ emissions than forest degradation. Therefore, reducing deforestation and strengthening sustainable forest management are essential strategies for climate change mitigation and long-term forest conservation in Keerom Regency.

Keywords: CO₂ emissions, deforestation, forest degradation, Keerom Regency, land cover change.

I. Pendahuluan

Ekosistem Papua yang mencakup bagian barat Pulau Nugini, mewakili salah satu benteng keanekaragaman hayati terakhir planet ini, menampilkan hutan hujan tropis yang luas yang menampung berbagai flora dan fauna, banyak di antaranya endemik (Glorya *et al.*, 2022; Parsch *et al.*, 2022). Memahami keanekaragaman hayati yang unik ini sangat penting untuk fungsi ekologi global dan dinamika karbon, mengingat stok karbon yang signifikan di kawasan ini dan peran dalam stabilisasi iklim (Suebu *et al.*, 2017; CSIS Indonesia, 2024) Seiring dengan meningkatnya kesadaran global akan degradasi lingkungan, hutan Papua telah diakui tidak hanya karena keanekaragaman hayatinya tetapi juga karena fungsi pentingnya dalam penyerapan karbon, yang berpengaruh terhadap kesehatan ekologis lokal dan global (Parsch *et al.*, 2022). Deforestasi di Keerom terutama didorong oleh perluasan pertanian, penebangan, dan konversi lahan hutan menjadi non-hutan seperti permukiman dan infrastruktur daerah.

Perubahan tutupan hutan dan emisi karbon dioksida (CO₂) memiliki implikasi mendalam bagi dinamika iklim global. Transformasi lanskap hutan akibat aktivitas manusia seperti deforestasi, penghijauan, dan urbanisasi berdampak signifikan pada siklus karbon bumi, akibat hutan melepaskan karbon yang tersimpan ke atmosfer tetapi juga memengaruhi iklim lokal dan global. Misalnya, Portmann *et al.*, (2022) menunjukkan bahwa pergeseran skala besar dalam penghutanan mengubah sirkulasi atmosfer dan arus laut, sehingga mempengaruhi iklim di luar emisi karbon.

Interaksi antara penggunaan lahan dan perubahan tutupan lahan *Land Use and Land Cover Change* (LULCC) dan emisi karbon dioksida (CO₂) adalah bidang studi penting

dalam ilmu lingkungan, terutama mengenai implikasinya terhadap perubahan iklim dan keanekaragaman hayati. Transformasi tutupan lahan memengaruhi stok karbon melalui deforestasi, yang didefinisikan sebagai perubahan hutan sepenuhnya, dan degradasi, yang mengacu pada penurunan kualitas hutan tanpa konversi penuh ke lahan nonhutan. Kedua proses tersebut secara signifikan memengaruhi emisi gas rumah kaca.

LULCC, khususnya deforestasi dan degradasi, merupakan kontributor utama peningkatan CO₂ di atmosfer. Menurut Malik *et al.*, (2023) ketika hutan diubah menjadi pertanian, perkotaan, atau penggunaan lahan lainnya, perubahan yang dihasilkan tidak hanya mengurangi keanekaragaman hayati tetapi juga meningkatkan efek rumah kaca dengan melepaskan karbon yang tersimpan ke atmosfer (Malik *et al.*, 2023) Pernyataan ini sejalan dengan temuan dari Gu *et al.*, (2023) yang menekankan bahwa perubahan penggunaan lahan telah melepaskan sekitar 136 hingga 156 Pg karbon selama 150 tahun terakhir, terhitung lebih dari 30% dari total emisi antropogenik. Selanjutnya, Lai *et al.* (2016) menggambarkan bahwa emisi karbon dari perubahan tutupan lahan terkait erat dengan dinamika penggunaan lahan, memberikan analisis spasial-temporal yang menggarisbawahi hubungan antara perubahan ini dan emisi dalam konteks yang beragam.

Studi menunjukkan bahwa perubahan tutupan lahan berkontribusi terhadap emisi CO₂, terutama melalui hilangnya biomassa pohon dan perubahan stok karbon tanah. Misalnya, Avitabile *et al.*, (2016) menemukan bahwa stok karbon hutan di daerah yang terdeforestasi menghasilkan emisi yang signifikan ketika dihitung melalui pemetaan biomassa, mengungkapkan perbedaan antara data lapangan dan perkiraan yang dihasilkan. Demikian pula, penelitian oleh Longo *et al.* (2016) menunjukkan bahwa variabilitas biomassa di seluruh jenis hutan sangat kompleks dan memperumit perkiraan emisi.

Deforestasi telah muncul sebagai salah satu pendorong utama perubahan iklim, yang mengakibatkan hilangnya sekitar 22 juta kilometer persegi hutan dari tahun 800 hingga 2015, dengan proyeksi yang menunjukkan kerugian signifikan di masa depan karena

lahan dikonversi untuk pertanian dan produksi bioenergi (Boysen *et al.*, 2020). Hal ini mengkhawatirkan karena deforestasi tidak hanya melepaskan karbon tetapi juga mengurangi kapasitas biosfer terestrial untuk menyerap karbon (Sonntag *et al.*, 2016). Lawrence *et al.*, (2022) menyatakan bahwa efek biofisik dari perubahan tutupan hutan dapat memperburuk pemanasan dengan memodifikasi kondisi iklim lokal, sehingga meningkatkan dampak iklim dari pelepasan karbon.

Hutan Papua menghadapi berbagai ancaman, terutama dari perubahan penggunaan lahan yang didorong oleh perluasan pertanian, penebangan, dan ekstraksi sumber daya. Gaveau *et al.*, (2021) mengungkapkan tren yang mengkhawatirkan tentang hilangnya hutan di Papua, terutama disebabkan oleh tekanan dari pembangunan pertanian yang sering mengabaikan keseimbangan ekologis yang rapuh di wilayah yang kaya akan keanekaragaman hayati ini. Hilangnya tutupan hutan ini memperburuk emisi CO₂ dan mengganggu habitat bagi banyak spesies, sehingga mengintensifkan tantangan kritis konservasi keanekaragaman hayati di daerah-daerah yang sensitif secara ekologis ini.

Selain itu, Nahriyah (2024), menyoroti bahwa deforestasi di Papua tidak hanya berdampak pada hilangnya tutupan hutan, tetapi juga menimbulkan persoalan tata kelola dan kebijakan pengelolaan hutan yang belum berpihak pada keberlanjutan ekologis. Kebijakan pengelolaan hutan di Papua perlu dirancang secara partisipatif dengan melibatkan masyarakat adat dan memperhatikan aspek konservasi keanekaragaman hayati.

Kabupaten Keerom dicirikan oleh ekosistem hutan hujan tropisnya yang kaya, sangat penting bagi keanekaragaman hayati dan dinamika karbon global. Namun, kawasan ini menghadapi tantangan signifikan akibat deforestasi dan degradasi hutan yang berkontribusi pada peningkatan emisi

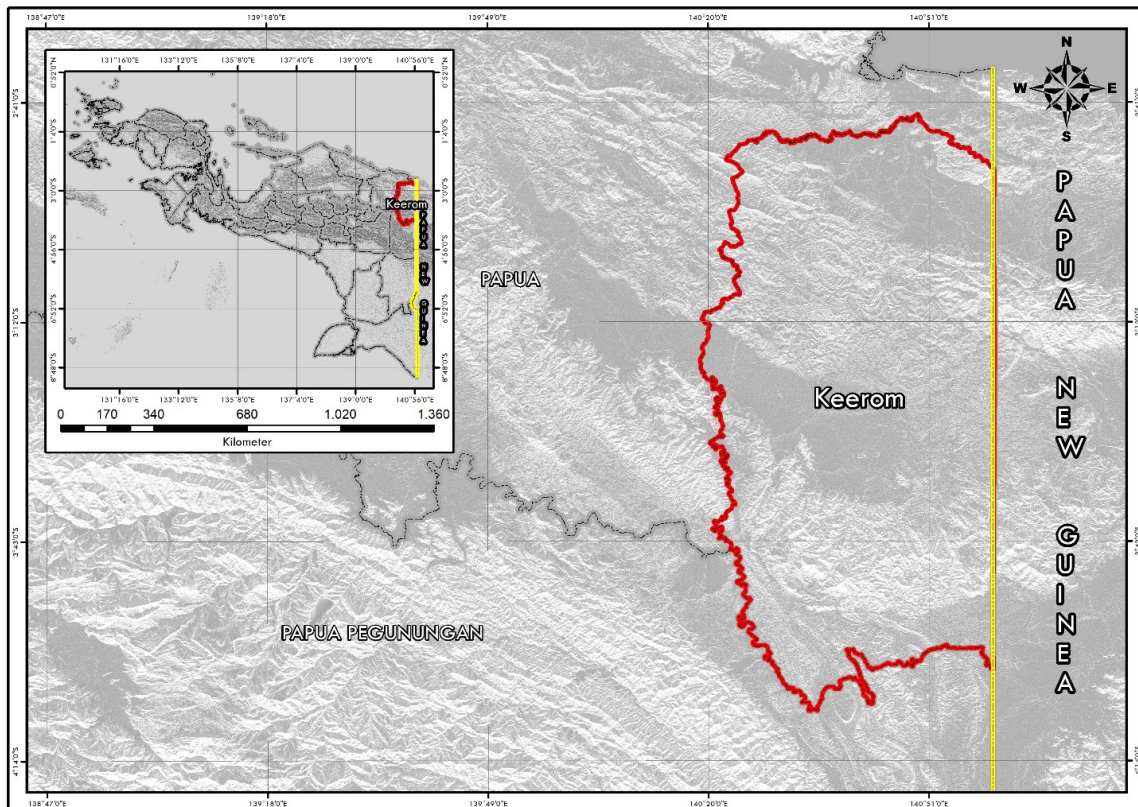
karbon dioksida. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis dinamika perubahan tutupan lahan di Kabupaten Keerom pada periode 1990, 2000, 2011, 2020, dan 2024; (2) mengkaji laju deforestasi dan degradasi hutan; serta (3) menghitung emisi CO₂ yang dihasilkan dari deforestasi dan degradasi hutan.

Teknologi GIS sangat penting dalam menganalisis perubahan tutupan lahan. Dengan menggunakan analisis *overlay* peta tutupan lahan, peneliti dapat memvisualisasikan dan mengukur luas deforestasi dan degradasi hutan di seluruh Distrik Keerom. Pergeseran biomassa yang drastis dapat dilacak dari waktu ke waktu, dan perubahan stok karbon dapat diperkirakan menggunakan data tentang praktik penggunaan lahan dan jenis hutan (Fox *et al.*, 2010; Bryan *et al.*, 2010).

II. Metode

Penelitian ini dilakukan di Kabupaten Keerom, Provinsi Papua, dengan luas wilayah administrasi mencapai 951.907,13 ha (Kementerian Dalam Negeri, 2022). Keerom memiliki iklim hutan hujan tropis dengan kelembapan tinggi dan curah hujan yang konsisten sepanjang tahun (Badan Pusat Statistik Kabupaten Keerom, 2025). Suhu rata-rata harian tertinggi berkisar antara 30,5°C hingga 35,1°C. Curah hujan tahunan melebihi 1.000 mm, dengan sekitar 100–105 hari hujan per tahun (BPS Keerom, 2025). Ketinggian bervariasi dari 0 hingga 2.000 m dpl, memengaruhi iklim mikro di beberapa distrik seperti Arso (dataran rendah) dan Waris atau Towe (dataran tinggi). Secara astronomis, Kabupaten Keerom terletak di koordinat 140°15'0" sampai 141°0'0" bujur Timur dan 2°37'0" sampai 4°0'0" lintang selatan.

Keerom adalah mosaik dari keragaman etnis dan tradisi asli yang kaya yang dimiliki oleh 7 suku besar, dengan lebih dari 20 bahasa yang digunakan di seluruh distrik (BPS Keerom, 2025).



Gambar 1. Peta Wilayah Studi yang menunjukkan wilayah Pemerintahan Keerom

A. Deforestasi dan Degradasi Hutan

Deforestasi terutama dicirikan sebagai perubahan dan kehilangan tutupan hutan secara permanen, di mana hutan diubah menjadi nonhutan. Hendri *et al.* (2022) menekankan bahwa deforestasi menyebabkan emisi karbon yang substansial saat biomassa terbakar atau terurai. Sebaliknya, degradasi hutan mengacu pada penurunan kualitas hutan (Bryan *et al.*, 2010). Perbedaan ini sangat penting dalam mengukur emisi karena hutan yang terdegradasi masih melepaskan CO₂ dalam jumlah yang signifikan dibandingkan dengan hutan primer utuh (Fox *et al.*, 2010). Degradasi hutan mengacu pada penurunan kualitas hutan, di mana hutan tetap ada tetapi kemampuannya untuk menyediakan jasa ekosistem penting berkurang. Tahapan penentuan degradasi meliputi: (1) mengidentifikasi transisi antarkelas hutan pada setiap periode (1990–2000, 2000–2011, 2011–2020, 2020–2024); (2) menghitung luasan yang mengalami degradasi berdasarkan perbedaan antarkelas hutan; dan (3) menghitung emisi CO₂ dari degradasi menggunakan faktor emisi transisi antarkelas hutan (Tabel 2).

Proses penghitungan emisi karbon dioksida (CO₂) yang dihasilkan oleh perubahan

tutupan lahan yang mengalami deforestasi dan degradasi hutan. Perhitungan mengacu pada *IPCC Guidelines* 2006 dengan menggunakan faktor emisi berdasarkan kelas tutupan lahan dan transisi perubahan. Emisi dari sumber lain seperti kebakaran hutan, emisi tanah (*soil respiration*), dan emisi dari penggunaan lahan non-kehutanan tidak dimasukkan dalam perhitungan karena keterbatasan data. Nilai stok karbon dan faktor emisi yang digunakan mengacu pada nilai standar *IPCC* untuk tipe hutan di Papua. Prinsip dasar perhitungan emisi berdasarkan pedoman *IPCC Guidelines* 2006, dengan rumus berikut:

$$\text{Emisi Karbon Dioksida} = \text{Faktor Emisi} \times \text{Data aktivitas} \times \frac{44}{12}$$

Keterangan:

Emisi karbon (ton CO₂) = besaran emisi yang dihasilkan.

Faktor Emisi (ton C/ha) = besaran emisi GRK yang dilepaskan ke atmosfer per satuan aktivitas tertentu.

Data aktivitas (ha) = Perubahan luas penggunaan lahan (areal hutan terdeforestasi/terdegradasi).

44/12 = Faktor konversi dari C ke CO₂.

Tabel 1. Faktor Emisi dalam perhitungan Emisi CO₂ dari Deforestasi

No	Tipe Penutupan Lahan		Stok C (ton/ha)	Faktor Emisi CO ₂ (ton/ha)
1	Hutan lahan kering primer (HP)	Nonhutan	239,1	876,7
2	Hutan lahan kering sekunder (HS)		180,4	661,5
3	Hutan Mangrove Primer (HMP)		263,9	967,6
4	Hutan Mangrove Sekunder (HMS)		201,7	739,6
5	Hutan rawa primer (HRP)		178,8	655,6
6	Hutan rawa sekunder (HRS)		145,7	534,2
7	Hutan Tanaman (HT)		64	234,7

Tabel 2. Faktor Emisi dalam perhitungan Emisi CO₂ dari Degradasi Hutan

No	Transisi Penutupan Lahan		Stok C(ton/ha)	Faktor Emisi CO ₂ (ton/ha)
1	Hutan lahan kering primer (Hp)	Hutan lahan kering sekunder (Hs)	58,7	215,23
2	Hutan Mangrove Primer (Hmp)	Hutan Mangrove Sekunder (Hms)	62,2	228,07
3	Hutan rawa primer (Hrp)	Hutan rawa sekunder (Hrs)	33,1	121,37

B. Data dan Pemrosesan

Penelitian ini menggunakan data spasial tematik di sektor kehutanan, seperti tutupan lahan deret waktu dan penetapan fungsi kawasan hutan. Data yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.

Software pengolah data QGIS 4.0.3,

Microsoft Word 2019, dan *Excel* 2019. Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini termasuk Peta Tutupan Lahan Kementerian Kehutanan tahun 1990–2024.

Analisis perubahan tutupan lahan dilakukan dengan tahapan *overlay* peta hasil klasifikasi tiap tahun (1990, 2000, 2011, 2020, dan 2024), lalu menghitung luas perubahan

Tabel 3. Data spasial tematik kehutanan

No	Data	Jenis	Skala/Resolusi	Sumber
1	Tutupan lahan dan penggunaan lahan tahun 1990, 2000, 2020 dan 2024.	Vektor	Skala 1:250.000	Kementerian Kehutanan (MoF) melalui https://sigap.menlhk.go.id/ (Diakses 1 Juni 2025)
2	Wilayah Batas Keerom	Vektor	1:50.000	Kementerian Dalam Negeri https://pelita.kemendagri.go.id/spasial/ (Diakses 1 Juni 2025)
3	Fungsi Kawasan Hutan	Vektor	1:50.000	Kementerian Kehutanan (MoF) melalui https://sigap.menlhk.go.id/SK.6632/MENLHK-PKTL/KUH/PLA.2/10/2021 (Diakses 1 Juni 2025)
4	Perijinan Kehutanan	Vektor	1:50.000	Kementerian Kehutanan (MoF) melalui https://sigap.menlhk.go.id/ (Diakses 1 Juni 2025)
5	Pelepasan Kawasan Hutan untuk perkebunan	Vektor	1:50.000	Kementerian Kehutanan (MoF) melalui https://sigap.menlhk.go.id/ (Diakses 1 Juni 2025)
6	Model elevasi digital	Raster	8,7 m/piksel	Geoportal Indonesia https://tanahair.indonesia.go.id/ (Diakses 1 Juni 2025)

dan persentase tiap kelas tutupan lahan. Pemilihan tahun analisis tersebut didasarkan pada ketersediaan data tutupan lahan dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) dan bertujuan untuk melihat dinamika perubahan tutupan lahan dalam rentang waktu mendekati dasawarsa; tahun 2011 digunakan sebagai pengganti tahun 2010 karena data tutupan lahan tahun 2010 tidak tersedia pada saat penelitian dilakukan. Data spasial dianalisis menggunakan analisis *overlay* pada QGIS 4.0.3 untuk menentukan pola, struktur, dan luasan perubahan tutupan lahan. Hasil disajikan dalam bentuk tabel, grafik dan peta tematik.

Penghitungan deforestasi dan degradasi hutan: Ada beberapa tahapan yang harus dilakukan untuk melakukan penghitungan deforestasi dan degradasi hutan. Tahapan ini termasuk kodifikasi, *overlay*, analisis perubahan tutupan lahan, dan penghitungan emisi karbon dioksida (CO₂). Proses selanjutnya adalah menghitung emisi karbon dioksida (CO₂) yang dihasilkan oleh perubahan tutupan lahan yang mengalami deforestasi dan degradasi hutan (IPCC *Guidelines*, 2006).

III. Hasil dan Pembahasan

Papua saat ini menghadapi tantangan dalam menyeimbangkan pembangunan ekonomi dengan pelestarian lingkungan. Di satu sisi, pembangunan mendorong terjadinya degradasi lingkungan, sedangkan di sisi lain pemerintah berkewajiban menerapkan kebijakan pembangunan berkelanjutan. Salah satu kebijakan yang diimplementasikan adalah konsep Provinsi Konservasi yang diinisiasi melalui Deklarasi Manokwari. Inisiatif ini mengintegrasikan tujuan konservasi ekologis dengan pembangunan berkelanjutan sebagai dasar pengelolaan sumber daya alam di Papua (Parsch *et al.*, 2022). Perencanaan konservasi yang sistematis direkomendasikan untuk melindungi keanekaragaman hayati Papua yang sangat tinggi sekaligus mengakomodasi kebutuhan masyarakat lokal terhadap pembangunan ekonomi (Parsch *et al.*, 2022). Penerapan strategi tersebut diharapkan mampu menyeimbangkan upaya pelestarian keanekaragaman hayati dengan peningkatan kesejahteraan masyarakat. Selain itu, strategi ini dapat memperkuat ketahanan ekosistem terhadap dampak perubahan iklim sehingga

fungsi ekologis dan keanekaragaman hayati Papua tetap terjaga bagi generasi mendatang (Parsch *et al.*, 2022).

Keberhasilan pengelolaan hutan di Papua juga memerlukan pemahaman yang komprehensif mengenai hubungan antara masyarakat lokal dan dinamika perubahan hutan. Aktivitas ekonomi masyarakat, terutama yang berkaitan dengan perluasan lahan pertanian dan pemanfaatan kayu, merupakan salah satu faktor yang mendorong perubahan tutupan hutan sekaligus menjadi tantangan bagi upaya konservasi (Bong *et al.*, 2016). Oleh karena itu, perspektif masyarakat lokal dan praktik pengelolaan hutan secara tradisional perlu diintegrasikan ke dalam strategi pengelolaan hutan yang berkelanjutan. Keterlibatan masyarakat dalam pengelolaan hutan dapat meningkatkan kepatuhan terhadap praktik-praktik berkelanjutan, mendukung pelestarian ekosistem hutan dalam jangka panjang, menjaga cadangan karbon, serta meningkatkan ketahanan hutan terhadap perubahan iklim.

A. Klasifikasi Tutupan Lahan

Kabupaten Keerom merupakan daerah hasil pemekaran Kabupaten Jayapura yang dibentuk berdasarkan Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2002. Saat ini Kabupaten Keerom terdiri atas 11 distrik dan 91 desa sesuai dengan Keputusan Menteri Dalam Negeri Nomor 100.1.1-6117 Tahun 2022. Pemekaran wilayah tersebut mendorong perkembangan pembangunan melalui peningkatan investasi pada sektor pengelolaan sumber daya alam dan pembangunan infrastruktur. Di sisi lain, pembangunan infrastruktur, penetapan Kabupaten Keerom sebagai kawasan penyangga ketahanan pangan di Provinsi Papua, serta meningkatnya investasi berbasis sumber daya alam turut mendorong konversi penggunaan lahan yang berdampak pada berkurangnya luas tutupan hutan.

Perubahan tutupan lahan selama periode 1990–2024 ditunjukkan melalui perbandingan proporsi kawasan hutan dan nonhutan pada Tabel 4, sedangkan klasifikasi tutupan lahan disajikan pada Tabel 5. Jumlah kelas tutupan lahan di Kabupaten Keerom meningkat dari 14 kelas pada tahun 1990, 2000, dan 2011 menjadi 17 kelas pada tahun 2020 dan 2024. Penambahan kelas tutupan lahan,

seperti Sawah, Savana/Padang Rumput, dan Bandara, menunjukkan semakin beragamnya penggunaan lahan sebagai akibat intensifikasi aktivitas antropogenik, terutama pada sektor pertanian dan pembangunan infrastruktur. Kondisi ini sejalan dengan peran Kabupaten Keerom sebagai kawasan penyangga pangan di Provinsi Papua yang mendorong konversi lahan. Hasil tersebut juga konsisten dengan Sawaki *et al.*, (2020), yang melaporkan bahwa perubahan tutupan lahan di Papua Barat umumnya dipicu oleh ekspansi perkebunan dan pembangunan infrastruktur sehingga meningkatkan keragaman kelas tutupan lahan.

Hasil penelitian ini juga didukung oleh Hematang (2023), yang melaporkan bahwa distribusi spasial padang rumput di bentang lahan Papua menunjukkan adanya hubungan erat antara perubahan tutupan lahan dan aktivitas antropogenik, terutama pada wilayah dengan akses infrastruktur yang semakin terbuka. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan variasi kelas tutupan lahan

di Kabupaten Keerom tidak terlepas dari pengaruh pembangunan infrastruktur dan ekspansi ekonomi.

Berdasarkan Tabel 4, luas hutan lahan kering primer menurun dari 781.441 ha (81,47%) pada tahun 1990 menjadi 699.350 ha (72,91%) pada tahun 2024, sehingga berkurang 82.091 ha selama 34 tahun. Penurunan terbesar terjadi pada periode 2000–2024, ketika luas hutan lahan kering primer menurun dari 771.353 ha (80,42%) menjadi 699.350 ha (72,91%). Hasil ini sejalan dengan Asra *et al.*, (2020), yang melaporkan bahwa luas hutan lahan kering primer berkurang sebesar 10,2%, menunjukkan terjadinya penurunan tutupan hutan yang signifikan. Selama periode 1990–2024, sebagian besar hutan lahan kering primer di Kabupaten Keerom dikonversi menjadi hutan lahan kering sekunder seluas 78.311 ha, perkebunan 1.056 ha, pertanian lahan kering campur 2.702 ha, lahan terbuka 629 ha, dan pertanian lahan kering 974 ha.

Pola konversi tersebut sejalan dengan

Tabel 4. Klasifikasi Penutupan Lahan Tahun 1990, 2000 dan 2011 di Kabupaten Keerom

No	Tutupan Lahan	Luas Tutupan Lahan					
		1990		2000		2011	
		Ha	%	ha	%	ha	%
1	Hutan Lahan Kering Primer	781.441	81,47	771.353	80,42	760.172	79,25
2	Hutan Lahan Kering Sukunder	65.803	6,86	74.756	7,79	77.853	8,12
3	Hutan Rawa Primer	47.558	4,96	46.084	4,80	36.773	3,83
4	Hutan Rawa Sukunder	24.806	2,59	26.148	2,73	32.740	3,41
5	Pertanian Lahan Kering	9.869	1,03	9.957	1,04	9.128	0,95
6	Pertanian Lahan Kering Campuran	2.534	0,26	3.066	0,32	8.975	0,94
7	Sawah	-	-	-	-	-	-
8	Pemukiman Transmigrasi	8.666	0,90	8.093	0,84	8.093	0,84
9	Perkebunan	7.266	0,76	7.494	0,78	12.845	1,34
10	Savana/ Padang Rumput	-	-	-	-	-	-
11	Semak Belukar	1.769	0,18	2.484	0,26	2.110	0,22
12	Semak Belukar Rawa	352	0,04	576	0,06	681	0,07
13	Lahan Terbuka	274	0,03	269	0,03	711	0,07
14	Bandara/ Pelabuhan	-	-	-	-	-	-
15	Tubuh Air	7.988	0,83	7.988	0,83	7.988	0,83
16	Rawa	324	0,03	324	0,03	324	0,03
17	Pemukiman	522	0,05	579	0,06	777	0,08
Total (ha)		959.170	100,00	959.170	100,00	959.170	100,00

Tabel 5. Klasifikasi Penutupan Lahan Tahun 2020 dan 2024 di Kabupaten Keerom

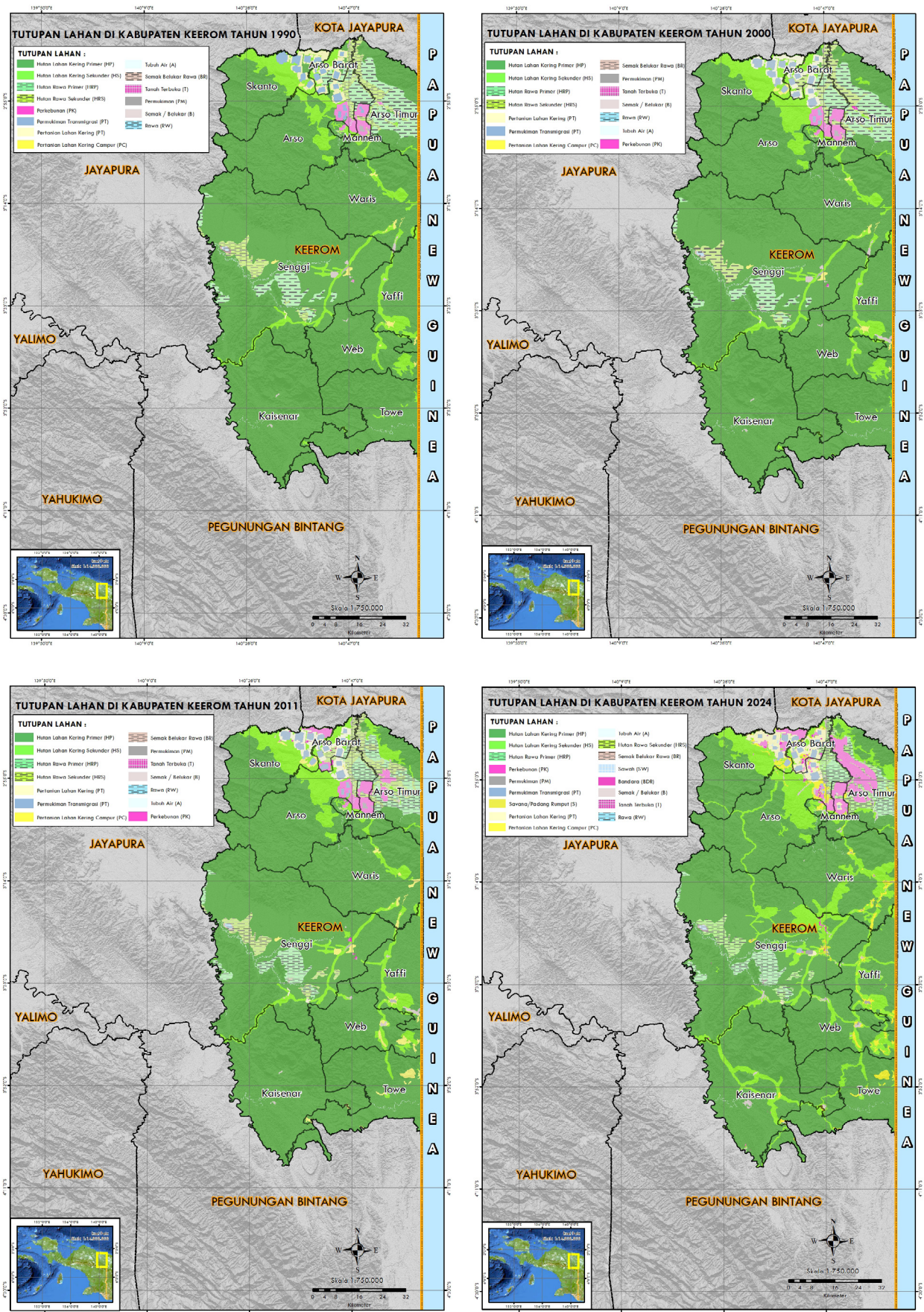
No	Tutupan Lahan	Luas Tutupan Lahan			
		2020		2024	
		ha	%	ha	%
1	Hutan Lahan Kering Primer	715.735	74,62	699.350	72,91
2	Hutan Lahan Kering Sukunder	118.731	12,38	133.264	13,89
3	Hutan Rawa Primer	26.856	2,80	26.770	2,79
4	Hutan Rawa Sukunder	28.610	2,98	27.427	2,86
5	Pertanian Lahan Kering	12.412	1,29	13.298	1,39
6	Pertanian Lahan Kering Campuran	14.575	1,52	14.799	1,54
7	Sawah	107	0,01	107	0,01
8	Pemukiman Transmigrasi	6.320	0,66	6.290	0,66
9	Perkebunan	23.299	2,43	22.888	2,39
10	Savana/ Padang Rumput	472	0,05	472	0,05
11	Semak Belukar	4.456	0,46	5.207	0,54
12	Semak Belukar Rawa	1.171	0,12	1.407	0,15
13	Lahan Terbuka	445	0,05	1.689	0,18
14	Pelabuhan	40	0,00	40	0,00
15	Tubuh Air	4.348	0,45	4.244	0,44
16	Rawa	324	0,03	324	0,03
17	Pemukiman	1.271	0,13	1.596	0,17
Total (ha)		9.170	100,00	959.170	100,00

temuan Dimara dan Auri (2023), yang melaporkan bahwa hutan lahan kering primer berubah menjadi semak atau belukar, savana, hutan lahan kering sekunder, perkebunan, dan sawah. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Sahindomi Bana *et al.*, (2025), yang menunjukkan bahwa konversi hutan lahan kering primer menjadi lahan pertanian dan pertanian lahan kering campur merupakan faktor utama perubahan tutupan lahan di Hutan Lindung Moramo.

Luas hutan rawa primer juga mengalami penurunan dari 47.558 ha (4,96%) pada tahun 1990 menjadi 26.770 ha (2,79%) pada tahun 2024, atau berkurang 20.788 ha selama 34 tahun. Penurunan terbesar terjadi pada periode 1990–2024. Hasil ini konsisten dengan Dimara & Auri, (2023), yang melaporkan adanya penurunan luas tutupan hutan rawa primer. Selama periode penelitian, sebagian besar hutan rawa primer di Kabupaten Keerom dikonversi menjadi hutan rawa sekunder seluas 9.820 ha, perkebunan 8.716 ha, pertanian lahan kering campur 592 ha, dan pertanian lahan kering 646 ha. Pola perubahan tersebut juga sesuai dengan temuan Pratiwi *et al.* (2024), yang menunjukkan bahwa hutan rawa primer

berubah menjadi hutan rawa sekunder selama periode 2009–2019.

Luas tubuh air menurun dari 7.988 ha (0,83%) pada tahun 1990 menjadi 4.244 ha (0,44%) pada tahun 2024, sehingga berkurang 3.745 ha selama 34 tahun. Penurunan terbesar terjadi pada periode 2020–2024, ketika luas tubuh air berkurang dari 4.348 ha (0,45%) menjadi 4.244 ha (0,44%). Hasil penelitian ini menunjukkan adanya penyusutan luas tubuh air di Kabupaten Keerom. Temuan tersebut sejalan dengan Adhiatma *et al.*, (2020), yang melaporkan bahwa luas tubuh air menyusut menjadi 4.839 ha dan diproyeksikan kembali berkurang sebesar 405 ha pada tahun 2031. Namun demikian, hasil ini berbeda dengan Setya *et al.* (2019), yang melaporkan peningkatan luas tubuh air sebesar 22,62 ha (0,27%) pada periode 2008–2017 sebagai dampak pembangunan bendungan untuk mendukung irigasi pertanian. Selama periode 1990–2024, sebagian besar tubuh air di Kabupaten Keerom berubah menjadi hutan rawa sekunder seluas 123 ha, pertanian lahan kering campur 90 ha, hutan lahan kering primer 3.458 ha, dan hutan lahan kering sekunder 115 ha.



Gambar 2. Distribusi Spasial Kelas Tutupan Lahan Kabupaten Keerom Tahun 1990, 2000, 2011, 2024 berdasarkan Tutupan Lahan dari Kementerian Kehutanan

Perubahan Tutupan Lahan dan Implikasinya pada Emisi Carbon di Keerom, Papua:

Suatu Analisis Spasial-Temporal

Ester Mumu, Zulfikar Mardiyadi, Francine Hematang

Sebaliknya, luas hutan lahan kering sekunder meningkat dari 65.803 ha (6,86%) pada tahun 1990 menjadi 133.264 ha (13,89%) pada tahun 2024, sehingga bertambah 67.461 ha selama 34 tahun. Peningkatan terbesar terjadi pada periode 2020–2024, ketika luasnya meningkat dari 118.731 ha (12,38%) menjadi 133.264 ha (13,89%). Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa proses degradasi hutan primer telah menghasilkan perluasan hutan lahan kering sekunder. Selain itu, pertumbuhan penduduk diduga turut berkontribusi terhadap perubahan tutupan lahan. Berdasarkan Badan Pusat Statistik (2025), jumlah penduduk Kabupaten Keerom mencapai 74.332 jiwa pada tahun 2024. Hasil ini sejalan dengan Purnama & Çoban (2024), yang menyatakan bahwa perubahan tutupan lahan, termasuk dinamika hutan lahan kering sekunder, dipengaruhi oleh pertumbuhan populasi. Secara spasial, peningkatan luas hutan lahan kering sekunder di Kabupaten Keerom terutama berasal dari konversi hutan lahan kering primer. Penelitian ini konsisten dengan Pratiwi *et al.*, (2024), yang melaporkan bahwa perubahan dari hutan lahan kering primer menjadi hutan lahan kering sekunder merupakan bentuk perubahan tutupan lahan yang paling menonjol pada periode 2000–2009.

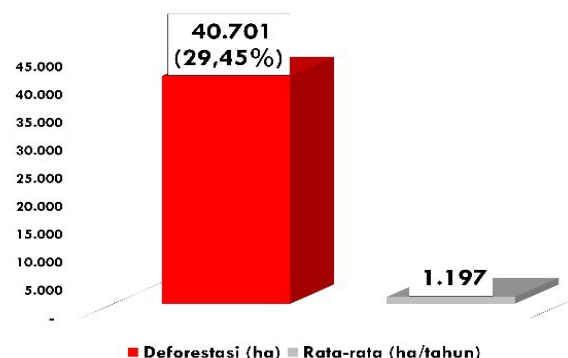
Namun demikian, penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa luas bersih hutan lahan kering sekunder di Kabupaten Nabire kemudian menurun akibat konversi berkelanjutan ke kelas tutupan lahan lainnya (Pratiwi *et al.*, 2024). Hasil penelitian ini juga didukung oleh Sahindomi *et al.*, (2025), yang melaporkan bahwa hutan lahan kering sekunder merupakan kelas tutupan lahan yang mendominasi Hutan Lindung Moramo pada tahun 2003, 2014, dan 2023, sehingga mengindikasikan bahwa peningkatan hutan sekunder merupakan konsekuensi dari degradasi hutan primer.

Sementara itu, pertanian lahan kering campur meningkat dari 2.534 ha (0,26%) pada tahun 1990 menjadi 14.799 ha (1,54%) pada tahun 2024, atau bertambah 12.265 ha selama 34 tahun. Peningkatan terbesar terjadi pada periode 2020–2024, ketika luasnya meningkat dari 14.575 ha (1,52%) menjadi 14.799 ha (1,54%). Peningkatan tersebut berkaitan dengan peran Kabupaten Keerom sebagai salah satu kawasan ketahanan pangan di Provinsi Papua. Hal ini sejalan dengan

studi Usman (2017), yang menyatakan bahwa sektor pertanian tetap menjadi pilar utama perekonomian Kabupaten Keerom. Hasil tersebut juga didukung oleh Beding *et al.*, (2023) yang melaporkan bahwa Kabupaten Keerom merupakan sentra produksi berbagai komoditas pangan utama, seperti jagung, padi, bawang merah, kedelai, ubi jalar, dan ubi kayu.

Luas perkebunan meningkat dari 7.266 ha (0,76%) pada tahun 1990 menjadi 22.888 ha (2,39%) pada tahun 2024, atau bertambah 15.622 ha selama 34 tahun. Peningkatan terbesar terjadi pada periode 2020–2024, meskipun luas perkebunan sedikit menurun dari 23.299 ha (2,43%) pada tahun 2020 menjadi 22.888 ha (2,39%) pada tahun 2024. Secara umum, peningkatan luas perkebunan berkaitan dengan keberadaan beberapa izin Perizinan Berusaha Pemanfaatan Hutan (PBPH) di Kabupaten Keerom, antara lain PT BN dengan luas konsesi sekitar 79.572 ha (SK.436/MenLHK/Setjen/HPL.0/10/2018), PT HA Unit Jayapura seluas 56.325 ha (SK.601/Menhut-II/2012), dan PT SDT seluas 154.950 ha (SK.287/Menhut-II/2014). Hasil penelitian ini juga sejalan dengan Usman (2017), yang menunjukkan bahwa subsektor perkebunan merupakan subsektor basis ekonomi terbesar di Kabupaten Keerom selama periode 2008–2011. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa perkembangan perkebunan, terutama kelapa sawit, menjadi salah satu faktor penting yang mendorong perubahan tutupan lahan dan peningkatan luas perkebunan di Kabupaten Keerom.

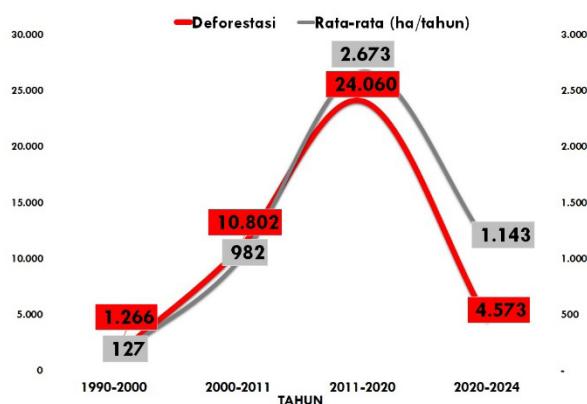
B. Deforestasi



Gambar 3. Total Deforestasi selama 34 tahun di Kabupaten Keerom

Data pada Gambar 3 menunjukkan bahwa selama periode 1990–2024, total deforestasi

di Kabupaten Keerom mencapai 40.701 ha (29,45%) dengan rata-rata 1.197 ha/tahun. Hasil ini menunjukkan bahwa konversi kawasan hutan terus berlangsung selama periode penelitian. Temuan tersebut konsisten dengan Putri *et al.*, (2024), yang melaporkan bahwa Kabupaten Keerom menempati urutan ketiga sebagai wilayah dengan tingkat deforestasi tertinggi di Provinsi Papua, dengan kehilangan hutan sebesar 41.230 ha selama periode 1990–2022. Kesamaan nilai tersebut mengindikasikan bahwa Kabupaten Keerom merupakan salah satu pusat perubahan tutupan hutan di Papua, sehingga pengendalian deforestasi menjadi tantangan penting dalam pengelolaan sumber daya hutan secara berkelanjutan.



Gambar 4. Deforestasi periode tahun 1990-2024 di Kabupaten Keerom

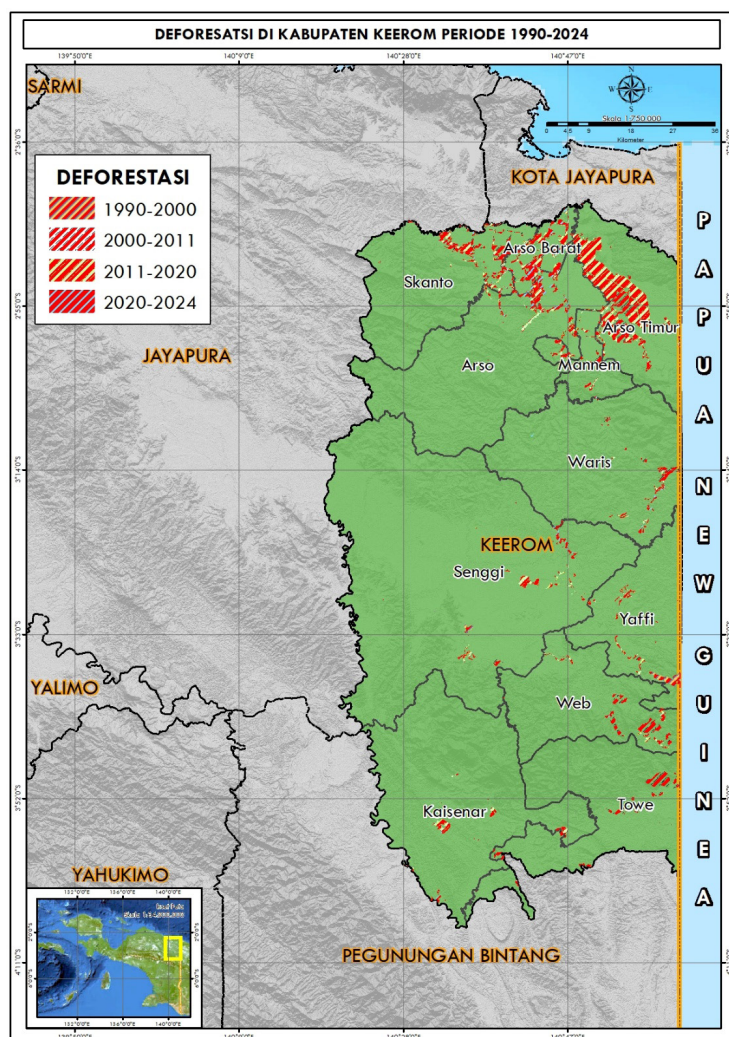
Berdasarkan Gambar 4, laju deforestasi tertinggi terjadi pada periode 2011–2020, dengan total kehilangan hutan mencapai 24.060 ha atau rata-rata 2.673 ha/tahun. Tingginya deforestasi pada periode ini terutama disebabkan oleh konversi kawasan hutan menjadi berbagai bentuk penggunaan lahan, meliputi perkebunan seluas 12.380 ha, lahan terbuka 595 ha, semak belukar 3.003 ha, semak belukar rawa 595 ha, pertanian lahan kering 2.190 ha, pertanian lahan kering campur 4.565 ha, permukiman 305 ha, padang rumput 39 ha, tubuh air 32 ha, dan permukiman transmigrasi 357 ha. Dominasi konversi hutan menjadi perkebunan dan pertanian menunjukkan bahwa ekspansi sektor agraria merupakan pendorong utama deforestasi di Kabupaten Keerom.

Hasil tersebut sejalan dengan Usman (2017), yang melaporkan bahwa pada tahun 2012 sektor pertanian, khususnya subsektor

tanaman pangan, mengalami peningkatan produksi dibandingkan tahun sebelumnya di Kabupaten Keerom. Peningkatan aktivitas pertanian tersebut mencerminkan semakin besarnya kebutuhan lahan untuk mendukung produksi pangan. Selain itu, Pusaka (2024) melaporkan bahwa pada tahun 2011 PT VCIWI memperoleh Surat Izin Pemanfaatan Kayu (IPK) dari Dinas Perkebunan dan Kehutanan Kabupaten Keerom untuk memanfaatkan kayu pada Areal Penggunaan Lain (APL) di lokasi perkebunan kelapa sawit PT TSP di Kampung Sangke, Distrik Arso Timur. Pada tahun 2012, perusahaan yang sama kembali memperoleh izin pemanfaatan kayu untuk lokasi perkebunan di Kampung Ujung Karang, Distrik Arso Timur. Keberadaan izin tersebut menunjukkan bahwa perluasan perkebunan pada periode tersebut turut berkontribusi terhadap peningkatan konversi kawasan hutan.

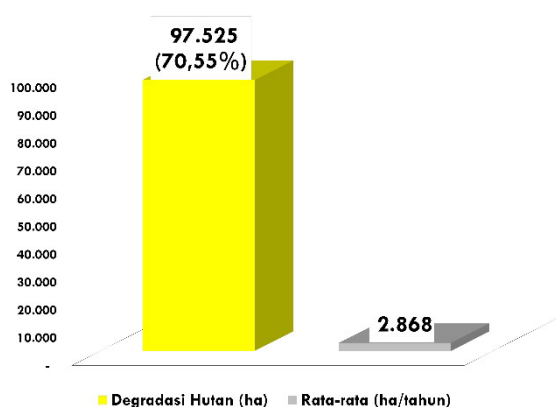
Periode dengan tingkat deforestasi tertinggi berikutnya terjadi pada 2000–2011, dengan luas kehilangan hutan mencapai 10.802 ha dan rata-rata 982 ha/tahun. Deforestasi pada periode ini terutama disebabkan oleh konversi hutan menjadi pertanian lahan kering campur seluas 5.223 ha, pertanian lahan kering 1.337 ha, perkebunan 2.869 ha, lahan terbuka 437 ha, semak belukar 831 ha, dan semak belukar rawa 105 ha. Pola perubahan tersebut menunjukkan bahwa ekspansi sektor pertanian dan perkebunan telah menjadi faktor dominan yang mendorong hilangnya tutupan hutan sejak awal tahun 2000-an.

Temuan ini sejalan dengan Pratiwi *et al.*, (2024), yang melaporkan terjadinya deforestasi seluas 805,71 ha di Kabupaten Nabire selama periode 2009–2019. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa peningkatan luas perkebunan dan permukiman berlangsung bersamaan dengan penurunan luas hutan lahan kering primer dan sekunder. Pola serupa juga terlihat di Kabupaten Keerom, di mana konversi hutan terutama diarahkan untuk pengembangan perkebunan dan lahan pertanian. Selain itu, hasil penelitian ini juga konsisten dengan Ramadhan (2025), yang melaporkan bahwa Indonesia kehilangan 462.400 ha hutan pada periode 2018–2019, menunjukkan bahwa peningkatan deforestasi di Kabupaten Keerom merupakan bagian dari tren kehilangan hutan yang terjadi pada skala nasional.



Gambar 5. Peta Deforestasi di Kabupaten Keerom dari tahun 1990-2024

C. Degradasi Hutan



Gambar 6. Total Degradasi hutan selama 34 tahun di Kabupaten Keerom

Berdasarkan Gambar 6, degradasi hutan mencapai puncaknya pada periode 2011–2020 dengan luas 44.471 ha dan rata-rata laju degradasi 4.941 ha/tahun. Degradasi tersebut

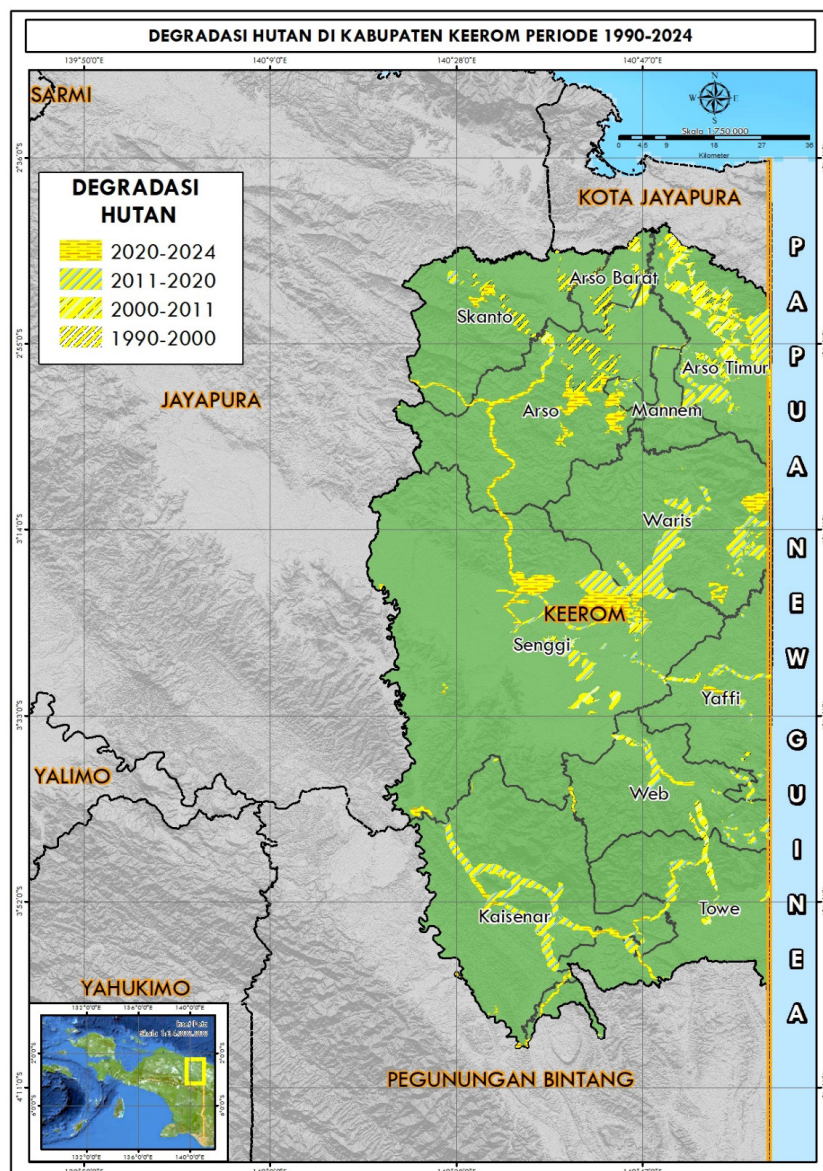
terutama terjadi akibat konversi 39.500 ha hutan lahan kering primer menjadi hutan lahan kering sekunder, 4.574 ha hutan rawa primer menjadi hutan rawa sekunder, serta 397 ha hutan rawa primer menjadi hutan lahan kering sekunder. Hasil penelitian ini konsisten dengan Putri *et al.*, (2024), yang melaporkan bahwa degradasi hutan di Provinsi Papua meningkat tajam selama periode 2018–2019 hingga mencapai 81.080 ha.

Penelitian ini selanjutnya dengan Barri *et al.*, (2019), yang menunjukkan bahwa tren penurunan tutupan hutan di Papua berlangsung secara berkelanjutan selama 2013–2018 dengan rata-rata kehilangan 200 ha/tahun, sehingga mencerminkan tekanan yang terus-menerus terhadap hutan alam Papua. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa degradasi hutan di Kabupaten Keerom pada periode ini terutama didorong oleh konversi hutan lahan kering

primer menjadi hutan lahan kering sekunder. Pola perubahan ini sejalan dengan Pratiwi *et al.*, (2024), yang melaporkan bahwa perubahan hutan lahan kering primer menjadi hutan lahan kering sekunder merupakan penyebab utama degradasi hutan di Kabupaten Nabire dengan luas mencapai 55.529,03 ha.

Periode dengan degradasi hutan tertinggi berikutnya terjadi pada 2020–2024, dengan luas mencapai 24.379 ha dan rata-rata laju degradasi 6.095 ha/tahun. Perubahan tersebut didominasi oleh konversi 24.047 ha hutan lahan kering primer menjadi hutan lahan kering sekunder, 235 ha hutan lahan kering primer menjadi hutan rawa sekunder, serta 97 ha hutan rawa primer menjadi hutan rawa

sekunder. Hasil ini sejalan dengan *Global Forest Watch* (2024), yang melaporkan bahwa 830 ha hutan primer hilang di Kabupaten Keerom pada tahun 2023. Temuan tersebut juga didukung oleh Wahana Lingkungan Hidup Indonesia (2025), yang menyatakan bahwa Indonesia menempati salah satu tingkat kehilangan hutan alam tertinggi di dunia, dengan sekitar 290 ribu ha hutan alam hilang pada tahun 2023. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa degradasi hutan di Kabupaten Keerom pada periode 2020–2024 terutama dipengaruhi oleh berkurangnya luas hutan lahan kering primer, yang kemudian mengalami perubahan menjadi tipe tutupan hutan yang lebih terdegradasi.



Gambar 7. Peta Degradasi Hutan di Kabupaten Keerom dari tahun 1990-2024

D. Emisi Karbon Dioksida

Jumlah emisi CO₂ di Kabupaten Keerom selama periode 1990–2024 disajikan pada Tabel 6. Besarnya emisi CO₂ pada setiap periode menunjukkan variasi yang signifikan, yang dipengaruhi oleh tingkat deforestasi dan degradasi hutan yang terjadi selama 34 tahun. Hasil analisis menunjukkan bahwa deforestasi menghasilkan total emisi sebesar 27.147.647 ton CO₂, dengan rata-rata emisi tahunan 798.460 ton CO₂/tahun. Sementara itu, degradasi hutan menghasilkan total emisi sebesar 19.681.504 ton CO₂, dengan rata-rata emisi tahunan 578.868 ton CO₂/tahun.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa emisi CO₂ yang dihasilkan oleh deforestasi lebih tinggi dibandingkan dengan emisi yang berasal dari degradasi hutan. Penelitian ini mengindikasikan bahwa hilangnya tutupan hutan akibat deforestasi memberikan kontribusi yang lebih besar terhadap pelepasan karbon dibandingkan dengan penurunan kualitas tegakan hutan akibat degradasi. Meskipun degradasi hutan juga berkontribusi terhadap emisi CO₂, besarnya emisi yang dihasilkan relatif lebih rendah dibandingkan dengan deforestasi. Kondisi ini terutama terjadi pada periode ketika kawasan hutan dikonversi menjadi perkebunan dan permukiman, sehingga menyebabkan pelepasan karbon dalam jumlah yang lebih besar ke atmosfer.

IV. Kesimpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa tutupan lahan di Kabupaten Keerom mengalami perubahan yang cukup signifikan selama periode 1990–2024, ditandai dengan bertambahnya variasi klasifikasi tutupan lahan serta terjadinya perubahan luas pada berbagai

jenis tutupan lahan. Secara umum, tutupan hutan primer dan kawasan perairan cenderung mengalami penurunan, sedangkan hutan sekunder, lahan pertanian, dan perkebunan menunjukkan peningkatan. Perubahan tersebut mengindikasikan adanya alih fungsi lahan yang dipengaruhi oleh aktivitas pembangunan dan pemanfaatan lahan.

Selama periode penelitian, deforestasi dan degradasi hutan terus terjadi dengan intensitas yang bervariasi pada setiap periode. Deforestasi menyebabkan hilangnya tutupan hutan, sedangkan degradasi menunjukkan penurunan kualitas hutan yang masih tersisa. Kedua proses tersebut berkontribusi terhadap meningkatnya tekanan terhadap ekosistem hutan di Kabupaten Keerom.

Perubahan tutupan lahan, deforestasi, dan degradasi hutan turut menghasilkan emisi karbon dioksida dalam jumlah yang signifikan. Emisi yang berasal dari deforestasi lebih besar dibandingkan dengan degradasi hutan, menunjukkan bahwa pembukaan hutan memberikan dampak yang lebih besar terhadap pelepasan karbon ke atmosfer. Hasil penelitian ini menegaskan pentingnya upaya pengelolaan hutan yang berkelanjutan, pengendalian alih fungsi lahan, serta perlindungan kawasan hutan untuk mengurangi emisi karbon dan menjaga kelestarian lingkungan di Kabupaten Keerom.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pemerintah Provinsi Papua Barat melalui Badan Riset dan Inovasi Daerah Provinsi Papua Barat atas kesempatan penerbitan artikel ini. Terima kasih kepada editor dan *reviewer* atas semua komentar untuk meningkatkan kualitas penulisan artikel ini.

Tabel 6. Emisi Karbon Dioksida dari Deforestasi dan Degradasi Hutan

No	Tahun	Total Emisi (ton CO ₂)		Rata-rata Emisi (ton CO ₂ /tahun)	
		Deforestasi	Degradasi Hutan	Deforestasi	Degradasi Hutan
1	1990-2000	1.438.575	2.319.680	143.858	231.968
2	2000-2011	7.317.092	3.018.572	665.190	274.416
3	2011-2020	15.269.137	9.105.084	1.696.571	1.011.676
4	2020-2024	3.122.843	5.238.168	780.711	1.309.542
Total (ton CO ₂)		27.147.647	19.681.504	3.286.329	2.827.602
Rata-rata (ton CO ₂ /tahun)		798.460	578.868		

V. Daftar Pustaka

- Adhiatma, R., Widiatmaka, & Lubis, I. (2020). Perubahan penggunaan/tutupan lahan dan prediksi perubahan penggunaan/tutupan lahan di Kabupaten Lampung Selatan. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 10(2), 234–246. <https://doi.org/10.29244/jpsl.10.2.234-246>
- Asra, R., Mappiasse, M. F., & Nurnawati, A. A. (2020). Penerapan model CA-Markov untuk prediksi perubahan penggunaan lahan di Sub-DAS Bila tahun 2036. *AGROVITAL: Jurnal Ilmu Pertanian*, 5(1), 1. <https://doi.org/10.35329/agrovital.v5i1.630>
- Avitabile, V., Schultz, M., Herold, N., de Bruin, S., Pratihast, A. K., Manh, C. P., Quang, H. V., & Herold, M. (2016). Carbon emissions from land cover change in Central Vietnam. *Carbon Management*, 7(5–6), 333–346. <https://doi.org/10.1080/17583004.2016.1254009>
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Keerom. (2025). *Keerom Regency in figures 2025*. <https://keeromkab.bps.go.id/id/publication/2025/02/28/c92153872057e3e75b783b4b/keerom-regency-in-figures-2025.html>
- Beding, P. A., Lewaherilla, N. E., Lestari, R. H., & Tirajoh, S. (2023). Analisis potensi pengembangan komoditas jagung di wilayah perbatasan NKRI–PNG Kabupaten Keerom Papua. *SEPA: Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian dan Agribisnis*, 20(2), 162. <https://doi.org/10.20961/sepa.v20i2.52339>
- Bong, I. W., Felker, M. E., & Maryudi, A. (2016). How do local communities drive and are affected by forest cover change? Opportunities for local participation in REDD+ measurement, reporting, and verification. *PLOS ONE*, 11(11), e0145330. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0145330>
- Boysen, L. R., Brovkin, V., Pongratz, J., Lawrence, D. M., Lawrence, P., Vuichard, N., Peylin, P., Liddicoat, S., Hajima, T., Zhang, Y., Rocher, M., Delire, C., Séférian, R., Arora, V. K., Nieradzick, L., Anthoni, P., Thiery, W., Laguë, M. M., Lawrence, D., & Lo, M.-H. (2020). Global climate response to idealized deforestation in CMIP6 models. *Biogeosciences*, 17(22), 5615–5638. <https://doi.org/10.5194/bg-17-5615-2020>
- Bryan, J., Shearman, P., Ash, J., & Kirkpatrick, J. B. (2010). Impact of logging on aboveground biomass stocks in lowland rainforest, Papua New Guinea. *Ecological Applications*, 20(8), 2096–2103. <https://doi.org/10.1890/09-1818.1>
- Centre for Strategic and International Studies. (2024). *Papua: Forests, carbon, and people*. <https://www.csis.or.id>
- Dimara, P. A., & Auri, A. (2023). Analisis perubahan penutupan lahan di Kabupaten Manokwari Selatan Provinsi Papua Barat. *Jurnal Kehutanan Papuasiasia*, 9(1), 50–60. <https://doi.org/10.46703/jurnalpapuasiasia.Vol9.Iss1.428>
- Fox, J. C., Yosi, C. K., Nimiago, P., Forova, O., Pokana, J. N., Lavong, K., & Keenan, R. J. (2010). Assessment of aboveground carbon in primary and selectively harvested tropical forests in Papua New Guinea. *Biotropica*, 42(4), 410–419. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2009.00617.x>
- Gaveau, D. L. A., Santos, L., Locatelli, B., Salim, M. A., Husnayaen, H., Meijaard, E., Heatubun, C., & Sheil, D. (2021). Forest loss in Indonesian New Guinea (2001–2019): Trends, drivers, and prospects. *Biological Conservation*, 261, 109225. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109225>
- Global Forest Watch. (2024). *Keerom, Indonesia, Papua deforestation rates & statistics*. <https://www.globalforestwatch.org>
- Glorya, M., Mumbunan, S., Primadevi, S., Ardafillah, M., Kalmirah, J., & Heatubun, C. D. (2022). *Funding for sustainability: Three challenges of trust fund implementation in Papua, Indonesia* [Preprint]. <https://doi.org/10.20944/preprints202209.0266.v1>
- Gu, W., Qi, W., & Zhang, M. (2023). *Prediction and low-carbon performance of land use in rapidly urbanizing areas under multi-objective spatial planning: Evidence from Hangzhou, China* [Preprint]. Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2889235/v1>
- Hematang, F. (2023). Distribusi spasial padang rumput bentang lahan Mahkota Permata Tanah Papua. *Igya Ser Hanjop: Jurnal Pembangunan Berkelanjutan*, 5(2),

- 123–134. <https://doi.org/10.47039/ish.5.2023.123-134>
- Hendri, H., Raharjo, S., Suarga, E., Rosyaridho, M. F., & Kalmirah, J. (2022). Towards low carbon development strategies from forestry sector in West Papua. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 989(1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/989/1/012007>
- Kementerian Dalam Negeri Republik Indonesia. (2020). *Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 46 Tahun 2020 tentang Batas Daerah Kabupaten Keerom dengan Kota Jayapura Provinsi Papua*. <https://peraturan.bpk.go.id/Details/162906/permendagri-no-46-tahun-2020>
- Lai, L. S., Huang, X., Yang, H., Chuai, X., Zhang, M., Zhong, T., Chen, Z., Chen, Y., Wang, X., & Thompson, J. R. (2016). Carbon emissions from land-use change and management in China between 1990 and 2010. *Science Advances*, 2(11), e1601063. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1601063>
- Lawrence, D., Coe, M. T., Walker, W., Verchot, L., & VandeCar, K. L. (2022). The unseen effects of deforestation: Biophysical effects on climate. *Frontiers in Forests and Global Change*, 5, 756115. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.756115>
- Longo, M., Keller, M., dos-Santos, M. N., Leitold, V., Pinagé, E. R., Baccini, A., Saatchi, S., Nogueira, E. M., Batistella, M., & Morton, D. C. (2016). Aboveground biomass variability in intact and degraded forests in the Brazilian Amazon. *Global Biogeochemical Cycles*, 30(11), 1639–1660. <https://doi.org/10.1002/2016GB005465>
- Malik, A., Santi, N. A., Misra, M., & Hamka, H. (2023). Analisis spasial-temporal deforestasi hutan di Taman Nasional Lore-Lindu. *Agroland: Jurnal Ilmu Pertanian (E-Journal)*, 10(1), 58–69. <https://doi.org/10.22487/agroland.v10i1.1750>
- Barri, M. F., Condro, A. A., Apriani, I., Cahyono, E., Prawardani, D. D., Hamdani, A., Syam, M., Ngingi, A. J., Habibie, A., Oktaviani, A. R., Jaya, A. F., Prasajo, F. A., Erwanto, A., & Situmorang, N. (2019). *Bioregion Papua: Hutan dan manusianya*. Forest Watch Indonesia.
- Nahriyah, M. (2024). Deforestasi hutan Papua: Urgensi penetapan kebijakan pengelolaan hutan di Papua. *Green Governance: Exploring Politics, Social Justice, and the Environment*, 1(1), 14–23. <https://doi.org/10.61511/gg.v1i1.2024.749>
- Parsch, C., Wagner, B., Pangau-Adam, M., Nitschke, C. R., Kreft, H., & Schrader, J. (2022). Papua at the crossroads: A call for systematic conservation planning in one of the largest remaining tropical rainforest areas. *Frontiers in Forests and Global Change*, 5, 763131. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.763131>
- Portmann, R., Beyerle, U., Davin, É. L., Fischer, E. M., de Hertog, S., & Schemm, S. (2022). Global forestation and deforestation affect remote climate via adjusted atmosphere and ocean circulation. *Nature Communications*, 13, Article 5569. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-33279-9>
- Pratiwi, A. S., Syartinilia, & Pravitasari, A. E. (2024). Perubahan tutupan lahan, degradasi, dan deforestasi hutan di Kabupaten Nabire periode 2000–2019. *Jurnal Lanskap Indonesia*, 16(2), 199–207. <https://doi.org/10.29244/jli.v16i2.54249>
- Purnama, M. I., & Çoban, H. O. (2024). Dynamic trajectories of land use and land cover changes in Lombok Island, West Nusa Tenggara, Indonesia. *Turkish Journal of Forestry*, 447–458. <https://doi.org/10.18182/tjf.1524144>
- Pusaka. (2024). *“Investasi bodong”: Mengungkap beban dan manfaat dari investasi sawit di Tanah Papua* [Laporan investigasi]. Yayasan Pusaka Bentala Rakyat.
- Putri, E. F. S., Murdjoko, A., & Raharjo, S. (2024). Dinamika deforestasi dan degradasi hutan di Provinsi Papua. *Cassowary*, 7(2), 30–41. <https://doi.org/10.30862/cassowary.cs.v7.i2.305>
- Ramadhan, L. P. (2025). Analisis deforestasi dan degradasi terhadap lingkungan hidup. *Beleid*, 3(1), 91. <https://doi.org/10.51825/beleid.v3i1.29470>
- Sahindomi Bana, S., Basrudin, & Hakim, H. (2025). Dinamika perubahan tutupan lahan Hutan Lindung Kecamatan Moramo (2003–2023) berdasarkan analisis citra Landsat. *Jurnal Celebica: Jurnal Kehutanan Indonesia*, 6(2), 280–287. <https://doi.org/10.65078/jc.v6i2.186>
- Sawaki, S. M. R., Hendri, & Moeljono, S. (2020). Deforestasi di Kabupaten Teluk Bintuni Provinsi Papua Barat. *Igya Ser Hanjop*:

- Jurnal Pembangunan Berkelanjutan*, 2(1), 1–10. <https://doi.org/10.47039/ish.2.2020.1-10>
- Setya, R. S., Wiryani, E., & Jumari, J. (2019). Dinamika tutupan lahan di kawasan karst Kecamatan Gunem Kabupaten Rembang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(2), 264–271. <https://doi.org/10.14710/jil.17.2.264-271>
- Sonntag, S., Pongratz, J., Reick, C. H., & Schmidt, H. (2016). Reforestation in a high-CO₂ world—Higher mitigation potential than expected, lower adaptation potential than hoped for. *Geophysical Research Letters*, 43(12), 6546–6553. <https://doi.org/10.1002/2016GL068824>
- Suebu, E. F., Hermana, J., & Boedisantoso, R. (2017). Mitigation strategy on reduction greenhouse gas (GHG) emission of landuse sector for the province of Papua. *Sustinere: Journal of Environment and Sustainability*, 1(2). <https://doi.org/10.22515/sustinere.jes.v1i2.14>
- Usman, U. (2017). Analisis sektor basis dan subsektor pertanian basis terhadap pertumbuhan ekonomi di Kabupaten Keerom, Provinsi Papua. *SEPA: Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian dan Agribisnis*, 13(1), 10. <https://doi.org/10.20961/sepa.v13i1.14230>
- Wahana Lingkungan Hidup Indonesia. (2024). *Platform politik lingkungan hidup Indonesia 2024*. Wahana Lingkungan Hidup Indonesia.